

Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías Industriales
(2016-2017)

Trabajo Fin de Grado

“Auditoría Energética de Acuerdo al Real Decreto 56/2016”

Mario Fernández Frutos

Tutor

Dr. Fernando Hernández Jiménez

Leganés, Septiembre de 2017.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor por echar una mano siempre que hizo falta sin poner ninguna pega.

A los trabajadores de Aldesa, especial mención para Sergio Casáñez, sin el que hubiese sido imposible formar parte de este proyecto.

A vosotros, amigos, tanto los de la universidad por estos cuatro años juntos, como a los de siempre, los que llevan toda una vida al lado.

Y a mi familia, mamá, Sandra, Itziar, gracias.

RESUMEN

Este Trabajo se basa en la realización de una auditoría energética en un edificio de oficinas en función del Real Decreto 56/2016. Este RD surge como herramienta para poder cumplir con los requisitos europeos en ahorro energético y promoción de energía limpia.

Este Trabajo es una adaptación académica de la realización de esta auditoría energética en una empresa real.

El objeto de estudio de este Trabajo es el análisis del consumo energético del edificio a auditar, identificando los diferentes orígenes de este consumo. Una vez hecho este análisis vamos a proponer centrar la auditoría en disminuir la cantidad de energía utilizada en la climatización del edificio.

Para ello, vamos a realizar una renovación del sistema de climatización, utilizando la estructura actual para él, pero cambiando todas las unidades tanto exteriores como interiores. De esta forma, utilizaremos tanto la tecnología VRV como la tecnología Inverter para conseguir un sistema mucho más eficiente que el actual.

Esta renovación la vamos a llevar a cabo mediante un estudio anual de la carga térmica del edificio. Este estudio térmico va a ser realizado con el programa Energy Plus, el cual mediante archivos de clima y planos manipulados del edificio nos proporcionará los resultados de la carga térmica.

Finalmente, una vez hayamos elegidos las nuevas unidades del sistema de climatización, vamos a realizar un último análisis del alcance de la auditoría, haciendo una estimación del consumo energético que el nuevo sistema tendría.

ABSTRACT

This Project is based on the execution of an energetic audit in an office building according to the Real Decreto 56/2016. This RD comes as a tool to accomplish the European requirements in energetic saving and promotion of clean energy.

This Project is an academic adaptation of the execution of this energetic audit in a real company.

The purpose of this Project is to analyse the energetic consumption of the audited building, identifying the diverse sources of this consumption. Once we have accomplished this analysis, we are going to focus on diminishing the total energy used to climatize the building.

In order to do it, we are going to renovate the air-conditioning system, using the current structure for it and changing all the units, both exterior and interior. Doing this, we will use both the VRV and the Inverter technology so we will get a system much more efficient than the current one.

This renovation is going to be implemented by doing an annual study the of thermal charge of the building. This thermal study will be done by using the programme Energy Plus which uses climatic data and manipulated drawings to obtain the results of the thermal charge.

Finally, once we had chosen the new units of the air-conditioning system, we are going to analyse the effect of the audit, estimating the energy consumption the new system would have.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	10
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y MARCO REGULADOR DEL PROYECTO.....	11
1.1. Contexto Real Decreto 56/2016.	11
1.2. Real Decreto 56/2016	12
1.3. Presentación de Aldesa y su Aplicación del Real Decreto 56/2016.	13
CAPÍTULO 2: CÁLCULO DE CONSUMOS ENERGÉTICOS.	15
1. Facturas y Consumos Anuales.	15
2. Identificación de Elementos Consumidores.	17
3. Consumo por iluminación.....	18
4. Consumo por Climatización.....	19
5. Consumo Electrónico y Otros.	20
6. Estudio de Resultados.	21
CAPÍTULO 3: TRANSFERENCIA DE CALOR.....	23
1. Transferencia de Calor.....	23
2. Carga Térmica.....	30
3. Ciclo de Refrigeración.....	34
CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE PARÁMETROS DEL EDIFICIO.....	38
1. Cálculo de Parámetros Estructurales del Edificio.....	38
2. Cálculo de Cargas Sensibles del Edificio.	40
CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE LA CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO	43
1. Introducción.	43
2. Realización de Planos para Genera 3D.....	43
3. Exportación a Energy Plus mediante Genera 3D.....	46
4. Editor Energy Plus.....	47
CAPÍTULO 6: NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.	53
1. Sistema VRV.....	53
2. Tecnología Inverter.....	55
3. Unidades Exteriores.....	55
4. Unidades Interiores.	56

CAPÍTULO 7: REALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
1. Estudio de la Nueva Demanda Energética.	59
2. Resultados de la Demanda Energética.	65
CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO, PLANIFICACIÓN E IMPACTO DE LA AUDITORÍA.	67
1. Planificación del Proyecto.	67
2. Presupuesto del Proyecto.	68
3. Impacto de la Auditoría Energética.	69
4. Impacto Energético de la Auditoría.	70
5. Impacto Económico de la Auditoría.	71
6. Impacto Medioambiental de la Auditoría.	73
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fachada Edificio Aldesa	14
Figura 3.1. Ejemplo de Conducción	24
Figura 3.2. Ejemplo de convección	26
Figura 3.3. Ejemplo de Conducción	28
Figura 3.4. Ejemplo de Circuito Térmico Equivalente	29
Figura 3.5. Esquema Ciclo Termodinámico.	34
Figura 3.6. Ciclo por Compresión de Vapor	35
Figura 3.7. Diagrama P-h R410A.....	36
Figura 3.8. Funcionamiento Válvula de Cuatro Vías.....	37
Figura 4.1 Resistencias Térmicas Superficiales de Cerramientos.....	38
Figura 4.2. Calidad de Aire CTE.....	41
Figura 5.1. Plano de Planta	44
Figura 5.2. Zonificación del Plano.....	45
Figura 5.3. Definición de Ventanas.....	45
Figura 5.4. Definición de Zonas	46
Figura 5.5. Vista Tridimensional Delantera del Edificio.....	47
Figura 5.6. Vista Tridimensional Trasera del Edificio.....	47
Figura 5.7. Interfaz Editor Energy Plus	48
Figura 5.8. Simulación Energy Plus	49
Figura 5.9. Carga Térmica Refrigeración	51
Figura 5.10. Carga Térmica Calefacción	52
Figura 6.1. Bomba de Calor VRV.....	53
Figura 6.2. Diferente sistema a tubos VRV	54
Figura 6.3. Funcionamiento Tecnología Inverter	55
Figura 6.4. Unidad Exterior RXYQ.....	56
Figura 6.5. Unidad Interior FXSQ.....	58
Figura 7.1. Carga Térmica Calefacción P.B.01	62
Figura 7.2. Carga Térmica Refrigeración P.B.01	62
Figura 7.3. Potencia Consumida Refrigeración P.B.01	64
Figura 7.4. Potencia Consumida Calefacción P.B.01	64
Figura 8.1. Planificación del Proyecto.	67
Figura 8.2. Diagrama de Gantt	68
Figura 8.3. Coeficientes CO2 IDAE	73
Figura 1. Planta Baja Aldesa	76

Figura 2. Planta Primera Aldesa.....	77
Figura 3. Planta Segunda Aldesa	78
Figura 4. Alzado Principal del Edificio	79
Figura 5. Alzado Posterior del Edificio	80
Figura 6. Sección Perfil del Edificio	81
Figura 7. Unidad Interior FSXQ-A	82
Figura 8. Unidad Exterior RXYQ-T	83
Figura 9. Valores Cristal ST420	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Consumos Generales	15
Tabla 2.2. Consumos Generales Junio	16
Tabla 2.3. Consumo Iluminación	18
Tabla 2.4. Consumo Climatización.....	20
Tabla 2.5. Consumo Electrónica	21
Tabla 2.6. Reparto Consumo Energético	22
Tabla 4.1. Estructura Cerramiento de Granito	39
Tabla 4. 2. Estructura Muro Cortina	39
Tabla 4.3. Estructura Cubierta	39
Tabla 4.4 Estructura Forjado Terreno.....	40
Tabla 4.5. Propiedades Vidrio ST420	40
Tabla 5.1. Carga Térmica por Zona	51
Tabla 6.1. Carga Térmica por Planta.....	56
Tabla 6.2. Unidades Interiores.....	58
Tabla 7.1. Demanda Calefacción y Refrigeración	66
Tabla 6.3. Importe Económico del Proyecto	69
Tabla 8.1. VAN del Proyecto	73

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1. Consumo Energético Anual	17
Gráfica 2.2. Reparto de Consumos	21

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y MARCO REGULADOR DEL PROYECTO.

1.1. Contexto Real Decreto 56/2016.

El Real Decreto 56/2016 nace de la necesidad de poner freno a uno de los mayores problemas a nivel mundial de la humanidad; el agotamiento de los recursos naturales no renovables, principales productores de electricidad a nivel mundial.

Para poner freno a este gran desplome de los recursos fósiles la Unión Europea lanzó el 'Paquete de Energía y Clima 2020' a través de, un conjunto de medidas con la que los países pertenecientes a la Comunidad Europea se comprometen a rebajar en un 20% la reducción de gases invernaderos y aumentar en otro 20% el uso de energías renovables y mejora de la eficiencia energética. Es importante recordar que no solo se trata de utilizar energía renovable para abastecer la demanda energética mundial, sino también intentar reducir ésta lo máximo posible optimizando los procesos productivos y el empleo de la energía. [1]

Ante la previsión de que estos objetivos serían imposibles de cumplir por parte de la Unión Europea, en el Consejo Europeo del 4 de febrero de 2011, se subraya la importancia de cumplir con los objetivos marcados en el plan 'Europa 2020', y para ello destacan la importancia de crear un nuevo plan energético que afecte a toda la cadena de abastecimiento energético. [2]

Como resultado al informe del Consejo, nace la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, en la que basándose en la conclusión del Consejo anterior sobre la imposibilidad de cumplir con los objetivos marcados por 'Europa 2020', marca un nuevo camino obligando a los Estados miembros de la Unión Europea a establecer sus propios planes y estrategias (siempre en colaboración con el Consejo Europeo) a nivel nacional para alcanzar los objetivos de eficiencia energética, ofreciendo un marco sancionador en caso de que estas medidas de carácter nacional sean incumplidas.

La Directiva 2012/27/UE, también establece las áreas en las que debe ser desarrollado el proceso de eficiencia energética, estableciendo el fomento de la

cogeneración de alta eficiencia y las redes urbanas de calor y frío como uno de los mayores potenciales de ahorro de energía primaria aún por desarrollar por los países de la Unión. Otra de las principales áreas de actuación de esta Directiva es el proceso de acreditación de proveedores de servicios energéticos y auditores energéticos con el objetivo de asegurar que los técnicos y proveedores de servicios energéticos tengan la formación necesaria para cumplir con los requisitos que los proyectos de eficiencia energética les presenten.

Por último, esta Directiva tiene como gran objetivo la fomentación de auditorías energéticas entre las PYMES y sobre todo la realización de auditorías energéticas cada cuatro años obligatorias a las empresas que no sean PYMES, favoreciendo la aplicación posterior de las medidas que la auditoría sugiera. [3]

1.2. Real Decreto 56/2016 [4].

El Real Decreto 56/2016 del 12 de Febrero traspone la Directiva 2012/27/EU a nivel nacional en los tres ámbitos mencionados anteriormente, eficiencia de calor y frío, acreditación de auditores y proveedores de servicios energéticos y auditorías energéticas.

Dado que nuestro foco de actuación reside en la realización de la auditoría energética es importante centrarnos en como el Real Decreto establece los pasos a seguir para juzgar quienes deben y quienes no pasar esta auditoría y en qué condiciones debe ser realizada.

Según el Real Decreto dos son los requisitos por los que una empresa debe realizar obligatoriamente una auditoría con el objetivo de encontrar y fomentar las posibles áreas de mejora en materia de eficiencia energética. El primero que una empresa cuente con más de 250 empleados y el segundo que tenga un volumen de negocio mayor a 50 millones de euros con un balance general que supere los 43 millones de euros. Es importante recalcar que estos dos requisitos no son necesarios mutuamente y que con que uno de ellos sea cumplido la realización de la auditoría es obligatoria.

Estas auditorías deben ser realizadas por auditores cualificados externos o pertenecientes al departamento de calidad interno de la propia empresa auditada

(titulados universitarios relacionados con conocimientos en energía o con posesión de títulos específicos reconocidos por la Comunidad de Madrid).

Se entiende que una auditoría energética cumple con el Real Decreto siempre que siga las siguientes directrices:

- Basarse en datos medidos y verificables como el consumo energía y perfiles de cargas eléctricas.
- El criterio de rentabilidad debe estar basado en análisis de coste de su ciclo vida, antes que en periodos simples de amortización.
- Se debe realizar un examen pormenorizado del perfil de consumo, incluido transporte.
- Debe darse una imagen fiable del rendimiento energético global, haciendo hincapié en las oportunidades de mejora más significativas.
- Se debe mostrar unos cálculos detallados para las medidas propuestas, facilitando así información clara del potencial de ahorro energético.
- Toda auditoría hecha respecto a la norma UNE-EN 16247 se entiende que cumple la norma.

1.3. Presentación de Aldesa y su Aplicación del Real Decreto 56/2016.

En 1969, con la adquisición de la empresa “Excavaciones Santamaría”, se crea la actual Aldesa. La compañía ubica la sede en Madrid y amplía su parque de maquinaria, lo que le permite empezar a colaborar con las Administraciones Públicas.

A finales de 1991 cambian los administradores de la empresa y con la incorporación de nuevos profesionales a la Dirección, Aldesa se convierte en constructora de ámbito nacional. Con el nuevo equipo gestor se accede a diversas Administraciones Públicas de carácter autonómico y local, y en tres años se incrementa la producción un 80%. A partir de 1995 Aldesa se abre a clientes privados, los que le permite incrementar su volumen de negocio año tras año.

Desde entonces ha consolidado su crecimiento hasta situarse entre los diez mayores grupos de construcción en España y México. En los últimos años está apostando fuertemente por la expansión internacional en países con potencial de desarrollo

donde poder ejecutar proyectos singulares de forma integral, aprovechando las sinergias generadas por las distintas empresas que conforman el Grupo Aldesa.

Dentro de este panorama tanto nacional como internacional el número de empleados dentro del Grupo asciende a 2622, mientras que el Importe Neto de la Cifra de Negocios (INCN) alcanza los 818,5 millones de euros, ambos datos presentes en el informe anual de 2015 de la empresa.

Debido a que ambos datos superan ampliamente los requisitos marcados por el Real Decreto para la realización obligatoria de la auditoría energética y dado que, dentro de las empresas del Grupo, ACISA está registrada como empresa de servicios energéticos en el RITE, se decide que la auditoría se realice a nivel interno dentro de la empresa, por técnicos cualificados no pertenecientes al Departamento de Calidad.

Debido a los múltiples edificios que tiene Aldesa distribuidos tanto en territorio nacional como a nivel internacional, junto a proyectos de construcción en desarrollo donde la empresa también tiene gastos energéticos significativos, se decide dividir los objetos susceptibles de ser auditados (edificios, obras, flota de vehículos) entre los diferentes técnicos, por lo que nosotros nos encargaremos de auditar y llevar a cabo las medidas de Ahorro Energético (MAE) del edificio central del Grupo de Aldesa, localizado en la calle Bahía de Pollensa, 13.



Figura 1.1. Fachada Edificio Aldesa

CAPÍTULO 2: CÁLCULO DE CONSUMOS ENERGÉTICOS.

1. Facturas y Consumos Anuales.

El primer paso para realizar la auditoría energética, y así poder proponer unas medidas de ahorro adecuadas, va a ser localizar todos los consumos energéticos que tiene nuestro edificio y así identificar cuáles de ellos tienen mayor potencial de ahorro.

Por ello vamos a analizar las facturas del edificio durante un año entero, para elaborar el consumo eléctrico real y extrapolarlo a los aparatos consumidores correspondientes.

Durante estos primeros pasos de análisis es necesario destacar que este edificio tiene un consumo cien por cien eléctrico, es decir ni calefacción, ni agua caliente sanitaria, ni cualquier otro servicio es proporcionado mediante el uso de la combustión directa de combustibles (como el gas natural o el gasóleo).

El edificio tiene cuatro contadores, dividiéndose en servicios generales, primera, segunda y tercera planta, por lo que sumando el importe de los cuatros tenemos la cantidad de dinero total correspondiente a electricidad.

CONSUMOS GENERALES					
	Contador 1 (€)	Contador 2 (€)	Contador 3 (€)	Contador 4 (€)	Final (€)
Enero	2.246,62	1.713,74	2.535,01	3.170,16	9.665,53
Febrero	1.673,68	1.352,47	1.956,80	2.335,38	7.318,33
Marzo	1.985,63	1.347,13	2.049,91	2.642,60	8.025,27
Abril	1.996,58	1.311,87	1.921,13	2.556,42	7.786,00
Mayo	2.022,94	1.458,10	1.964,00	2.593,41	8.038,45
Junio	2.198,40	1.670,66	2.172,66	2.701,58	8.743,30
Julio	2.696,59	2.172,16	2.695,87	3.109,55	10.674,17
Agosto	2.237,29	1.701,30	2.227,17	2.696,75	8.862,51
Septiembre	2.064,83	1.555,93	2.152,94	2.605,93	8.379,63
Octubre	2.230,94	1.614,72	2.266,20	2.948,21	9.060,07
Noviembre	1.750,16	1.042,26	1.507,01	2.099,39	6.967,43
Diciembre	138,49	953,79	1.301,68	1.997,69	6.780,01
TOTAL					97.343,73

Tabla 2.1. Consumos Generales

Dado que solo tenemos los detalles de la factura de junio, en la que podemos ver los kWh consumidos y el precio pagado por ellos, haremos una relación directa para

poder hallar el precio pagado únicamente por los kWh consumidos (excluyendo los importes de potencia, alquileres de contadores e impuestos), y así poder hallar el total de kWh durante el año entero.

CONSUMOS GENERALES JUNIO					
	Contador 1	Contador 2	Contador 3	Contador 4	Final
kWh	6.889,00	7.312,00	6.131,00	9.581,00	29.913,00
€ (kWh)	1.063,39	1.124,90	952,76	1.374,43	4.515,48

Tabla 2.2. Consumos Generales Junio

La relación de dinero pagado por kWh y el dinero total de la factura en junio, nos permitirá estimar el factor que relacione los kWh anuales con la cantidad de dinero pagada.

$$F.C = \frac{4515,48}{8743,30} = 0.516 \left[\frac{€}{€} \right]$$

Ahora podemos hallar el precio pagado exclusivamente por la cantidad total de kWh consumidos durante todo el año.

$$97.343,73 * 0,516 = 50.229,36 [€]$$

Finalmente consultando el precio unitario del kWh, podremos estimar la energía consumida.

Este precio varía en función del contrato firmado con la empresa por lo que vamos a hacer una relación lineal entre la cantidad pagada en Junio únicamente por electricidad y los kWh consumidos durante este mes para hallar el precio unitario del kWh.

$$\frac{4.515,48}{29.913} = 0,151 \left[\frac{€}{kWh} \right]$$

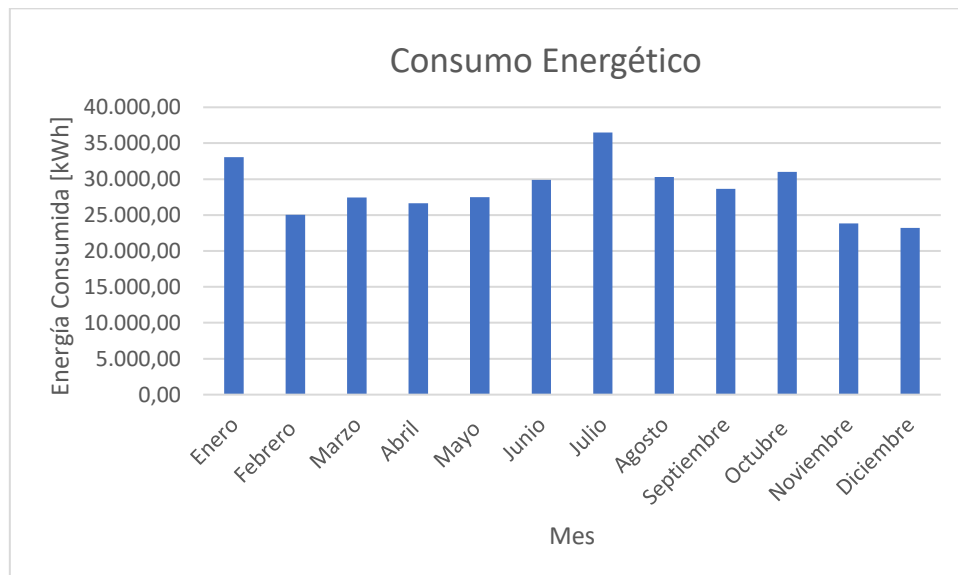
De esta forma podemos estimar finalmente la demanda energética anual consumida por el edificio, la cual nos va a servir de base para calcular ahorros totales una vez hecho el estudio del impacto de la auditoría.

$$\frac{50.229,36}{0,151} = 332.645 [kWh]$$

2. Identificación de Elementos Consumidores.

Debido al uso exclusivo para oficinas que tiene el edificio es lógico pensar que el mayor consumo de energía va a producirse en climatización, iluminación, elementos electrónicos y otros consumos (ascensores, termos eléctricos para ACS, etc.).

Sin embargo, dado que no existen contadores de energía individuales para los distintos usos del edificio, será necesario estimar la energía consumida por estos sectores y para ello nos vamos a valer del recuento de equipos eléctricos consumidores, y de las distintas facturas de electricidad mensuales (que calcularemos a partir del precio pagado como hemos hecho anteriormente) para de esta forma poder hacer las estimaciones correspondientes a los periodos de climatización.



Gráfica 2.1. Consumo Energético Anual

Viendo la gráfica se observa como en los meses de verano el consumo aumenta considerablemente lo que podemos atribuir a la climatización del edificio.

Sin embargo, vemos como el consumo tiene demasiadas variables lo que se puede deber a la gran variación del tiempo exterior en una ciudad propia de un clima seco como es Madrid, como a las épocas donde varía mucho la ocupación del edificio (por periodo de vacaciones como Navidad, donde el edificio cierra entero y podemos ver diciembre como el mes de menos consumo energético).

Por ello haremos una estimación basándonos únicamente en la potencia de los equipos consumidores y asociándoles unas horas de funcionamiento diario para calcular la energía consumida.

3. Consumo por iluminación.

Para calcular el consumo por iluminación, tendremos que hacer un recuento de todas las luminarias del edificio, para ello tenemos los planos del edificio con todos los equipos instalados y que se encuentran anexos al documento.

Consumos Alumbrado						
Planta	Tecnología	Número Lámparas	Potencia Lámpara [W]	Potencia Luminaria [W]	Número Luminaria	Potencia Total [W]
Sótano	Regleta Fluorescente	1	58	58	35	2030
Sótano	Regleta Fluorescente	2	58	116	4	464
Sótano	Regleta Fluorescente	2	18	36	21	756
Sótano	Luminaria Fluorescente	4	18	72	8	576
Sótano	Downlight Fluorescente	2	23	46	6	276
Sótano	Downlight Fluorescente	2	13	26	8	208
Sótano	Halógeno empotrado	1	50	50	4	200
Sótano	Aplicado incandescente	1	32	32	3	96
Baja	Luminaria Fluorescente	4	18	72	125	9000
Baja	Downlight Fluorescente	2	23	46	6	276
Baja	Halógeno empotrado	1	50	50	26	1300
Baja	Halógeno	1	50	50	6	300
Baja	Empotrable Incandescente	1	60	60	18	1080
Baja	Bañador Halógeno	1	150	150	6	900
Baja	Aplicado incandescente	1	32	32	2	64
Primera	Luminaria Fluorescente	4	18	72	151	10872
Primera	Downlight Fluorescente	2	23	46	6	276
Primera	Halógeno empotrado	1	50	50	21	1050
Primera	Aplicado incandescente	1	32	32	1	32
Segunda	Luminaria Fluorescente	4	18	72	126	9072
Segunda	Downlight Fluorescente	2	23	46	6	276
Segunda	Halógeno empotrado	1	50	50	25	1250
Segunda	Aplicado incandescente	1	32	32	3	96
Segunda	Aplicado incandescente	1	100	100	2	200
TOTAL						40650

Tabla 2.3. Consumo Iluminación

4. Consumo por Climatización.

Para calcular el consumo por climatización haremos exactamente igual que con la iluminación, un recuento con los planos que tenemos de todos los aparatos pertenecientes al sistema de clima. Además, junto con las fichas técnicas de estos equipos, que también están anexas, tendremos la potencia de cada aparato, que cabe destacar que, en el caso de la climatización, la potencia hace referencia al conjunto de bomba de calor exterior y unidad interior.

Consumo Climatización					
Zona	Aparato	Potencia Frío [W]	Potencia Eléctrica Frío [W]	Potencia Calor [W]	Potencia Eléctrica Calor [W]
EXTRACT.1	CVHT18	3.000	3.158		
EXTRACT.2	CVHT18	3.000	3.158		
SOTANO		6.000	6.316	0	0
0.1	FHYB100-1	10.000	3.780	11.200	3.910
0.2	FHYB100-2	10.000	3.780	11.200	3.910
0.3	FHYB71-1	7.100	2.650	8.000	2.490
0.4	FHYB100-3	10.000	3.780	11.200	3.910
0.5	FHYB71-2	7.100	2.650	8.000	2.490
0.6	FBQ100-1	10.000	3.780	11.200	3.910
0.7	FHYB100-4	10.000	2.700	11.200	2.690
0.8	FHYB100-5	10.000	3.780	11.200	3.910
0.9	FHYB100-6	10.000	3.780	11.200	3.910
0.1	FHYB100-7	10.000	3.780	11.200	3.910
0.11	FBQ125-1	12.500	3.590	14.000	3.870
0.12	FHYB100-8	10.000	3.780	11.200	3.910
0.13	FHYB71-3	7.100	2.650	8.000	2.490
REC.0.1	VKM50GAMV1-1	4.710	560	7.460	560
REC.0.2	VKM50GAMV1-2	4.710	560	7.460	560
PLANTA 0		133.220	45.600	153.720	46.430
1.1	FHYB100-9	10.000	3.780	11.200	3.910
1.2	FHYB100-10	10.000	3.780	11.200	3.910
1.3	FHYB100-11	10.000	3.780	11.200	3.910
1.4	FHYB71-4	7.100	2.650	8.000	2.490
1.5	FHYB100-12	10.000	3.780	11.200	3.910
1.6	FHYB125-1	12.200	4.550	14.500	4.520
1.7	FHYB100-13	10.000	3.780	11.200	3.910
1.8	FHYB100-14	10.000	3.780	11.200	3.910
1.9	FHYB125-2	12.200	4.550	14.500	4.520
1.1	FHYB71-5	7.100	2.650	8.000	2.490
1.11	FHYB100-15	10.000	3.780	11.200	3.910
1.12	FHYB125-3	12.200	4.550	14.500	4.520

REC.1.1	VKM50GAMV1-3	4.710	560	7.460	560
REC.1.2	VKM50GAMV1-4	4.710	560	7.460	560
PLANTA 1		130.220	46.530	152.820	47.030
2.1	FHYB100-16	10.000	3.780	11.200	3.910
2.2	FHYB100-17	10.000	3.780	11.200	3.910
2.3	FHYB100-18	10.000	3.780	11.200	3.910
2.4	FHYB100-19	10.000	3.780	11.200	3.910
2.5	FHYB100-20	10.000	3.780	11.200	3.910
2.6	FHYB100-21	10.000	3.780	11.200	3.910
2.7	FHYB100-22	10.000	3.780	11.200	3.910
2.8	FHYB125-4	12.200	4.550	14.500	4.520
2.9	FHYB100-23	10.000	3.780	11.200	3.910
REC.2.1	VKM50GAMV1-5	4.710	560	7.460	560
REC.2.2	VKM50GAMV1-6	4.710	560	7.460	560
PLANTA 2		101.620	35.910	119.020	36.920
TOTAL			134.356		130.380

Tabla 2.4. Consumo Climatización

5. Consumo Electrónico y Otros.

Para poder consultar el consumo electrónico ha sido necesario una coordinación con el equipo informático y de servicios generales de la empresa para conseguir un listado de cualquier dispositivo dentro de la empresa que pudiese consumir electricidad.

Los principales consumidores como ya se podía intuir son los equipos de ofimática ya que son los que están en funcionamiento toda la jornada laboral, por ello hemos considerados despreciables el resto de equipos consumidores como ascensores, termos eléctricos, grupos de presión, el CPD (servidor de la empresa, tanto informático como telefónico) y otros consumos como por ejemplo la zona de comedor (con frigoríficos y microondas).

Al final obtenemos el siguiente resultado.

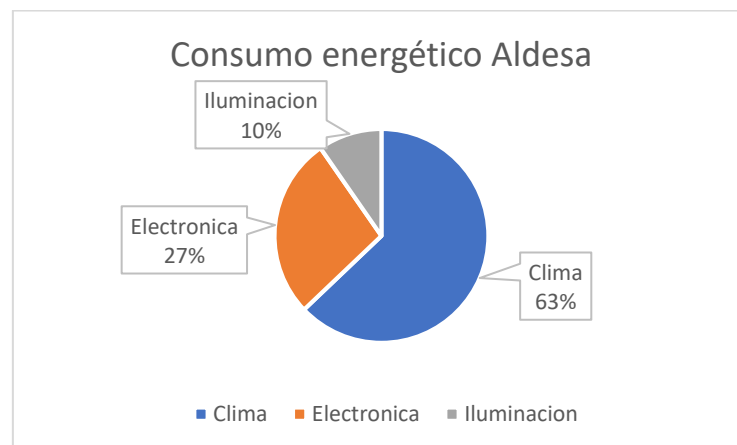
Consumo Electrónica				
Planta	Dispositivo	Potencia Unitaria [W]	Unidades	Potencia total [W]
Sótano	Portátil	300	3	900
Sótano	Monitor	90	3	270
Sótano	CPD	13.500	1	13.500
Sótano	Frigorífico	1.200	2	2.400

Baja	Portátil-Despacho	300	8	2.400
Baja	PC. Sobremesa	216	35	7.560
Primera	Portátil-Despacho	300	9	2.700
Primera	PC. Sobremesa	216	34	7.344
Primera	Portátil	300	15	4.500
Segunda	Portátil-Despacho	300	13	3.900
Segunda	PC. Sobremesa	216	29	6.264
				51.738

Tabla 2.5. Consumo Electrónica

6. Estudio de Resultados.

Dado que es prácticamente imposible calcular la demanda energética a través de la potencia de los aparatos consumidores, vamos a hacer una estimación. Dado que la demanda energética se resuelve como $demanda = potencia \times tiempo$ y puesto que estamos en un edificio de oficinas con horarios fijos, y todo el equipo ofimático está encendido prácticamente todo el tiempo, vamos a estimar que todos estos dispositivos funcionan las mismas horas durante todo el año, de esta forma manteniendo constante el factor tiempo, podremos calcular el porcentaje de consumo de cada bloque, y calcularlo de la demanda energética anual calculada anteriormente, la cual al venir de facturas sí que es completamente real.



Gráfica 2.2. Reparto de Consumos

Sabiendo ya el reparto del consumo energético, con la energía anual consumida podemos hallar la demanda energética de cada uso.

	Consumo Energético [kWh]
Iluminación	38.292,55
Electrónico	48.737,52
Climatización	245.614,93
Total	332.645,00

Tabla 2.6. Reparto Consumo Energético

Una vez hecho el estudio del consumo energético anual podemos ver que la mayor parte se gasta en climatización y que de hecho los consumos en iluminación y electrónica no son muy altos.

Esto probablemente se deba a unos aparatos completamente sobredimensionados con la carga térmica del edificio por lo que nuestra principal medida de ahorro energético va a ser reacondicionar todo el sistema de climatización, para disminuir este consumo lo máximo posible.

CAPÍTULO 3: TRANSFERENCIA DE CALOR

1. Transferencia de Calor.

Para poder hacer una buena medida de ahorro energético en el sistema de climatización vamos a hacer un estudio de la carga térmica del edificio. Este estudio va a ser realizado con el programa Energy Plus, que se basa en los principios de la transferencia de calor para realizar sus cálculos.

Por ello es necesario explicar el concepto de transferencia de calor y sus diferentes formas ya que es la ciencia implicada en las pérdidas y ganancias de calor del edificio.

Se define la transferencia de calor como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, ya que siempre que existe una diferencia de temperaturas entre cuerpos debe ocurrir una transferencia de calor del cuerpo más caliente al menos.

Esta transferencia de calor puede darse de tres formas distintas las cuáles vamos a explicar. [5]

Conducción.

Se considera conducción a la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas.

Esta transferencia de energía se atribuye a ondas reticulares producidas por el propio movimiento atómico, de forma que en un no conductor esta es la única vía de transferencia de energía, mientras que en un elemento conductor también se debe al movimiento de traslación de los electrones libres.

Para cuantificar la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo utilizamos la ecuación conocida como *Ley de Fourier*, que viene dada por la siguiente expresión.

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx}$$

Donde,

- $q''_x = \text{transferencia de calor por unidad de área. [W/m}^2\text{]}$
- $k = \text{conductividad térmica del material. [W/m} \cdot \text{K]}$
- $\frac{dT}{dx} = \text{gradiente de temperatura en la dirección } x. [\text{K/m}]$

En el caso de un edificio la mayor parte de la transferencia de calor viene dada por la conducción en las paredes del edificio, que se traduce en pérdidas de calor en invierno y ganancias en verano.

Dado que en el caso de conducción en paredes como las del edificio que vamos a estudiar la variación de temperatura es lineal dentro del material vamos a poder desarrollar la ecuación anterior, adaptándola a nuestro caso particular.

$$q''_x = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L}$$

Donde,

- $\Delta T = \text{Diferencia de Temperatura en la pared. [K]}$
- $L = \text{Longitud de la pared. [m]}$

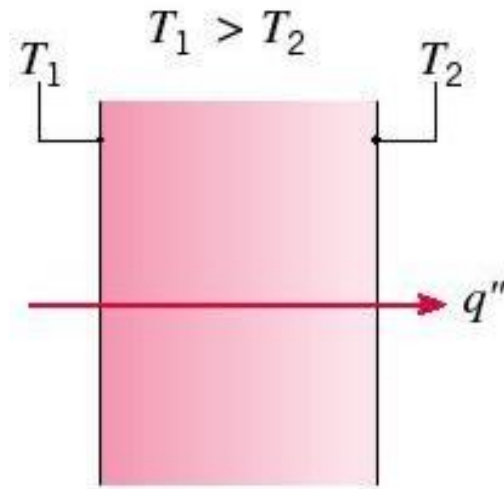


Figura 3.1. Ejemplo de Conducción [5]

Convección

La transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos, el movimiento molecular aleatorio (difusión) y el movimiento global o macroscópico del fluido. El movimiento del fluido está asociado con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva. Este movimiento en la presencia de un gradiente de temperaturas contribuye a la transferencia de calor.

El término convección se utiliza para referirnos al transporte de energía producido por el movimiento aleatorio de las moléculas y por el movimiento global del fluido.

En nuestro caso analizaremos el transporte de energía por convección para el caso entre un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando estos tienen una diferencia de temperaturas. En nuestro proyecto este transporte de calor se produce entre el aire tanto exterior como interior del edificio con sus respectivas caras del muro o pared. Al igual que ocurre con la conducción cuanto mayor sea la temperatura del aire mayor será el transporte de calor.

Esta transferencia de calor por convección podemos clasificarla en función de la naturaleza del flujo. La llamamos convección forzada cuando el flujo de calor es causado por medios externos como puede ser un ventilador o una bomba. Por otro lado, definimos a la convección libre o natural, como el flujo inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Para cuantificar el proceso de transferencia de calor por convección utilizamos la siguiente expresión, sin importar la naturaleza particular del proceso.

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

Donde,

- $q'' = \text{Flujo de calor por convección.} [W/m^2]$
- $h =$
 $\text{coeficiente de transferencia de calor por convección.} [W/m^2 \cdot K]$

- $T_s = \text{Temperatura de la superficie. [K]}$
- $T_\infty = \text{Temperatura del fluido. [K]}$

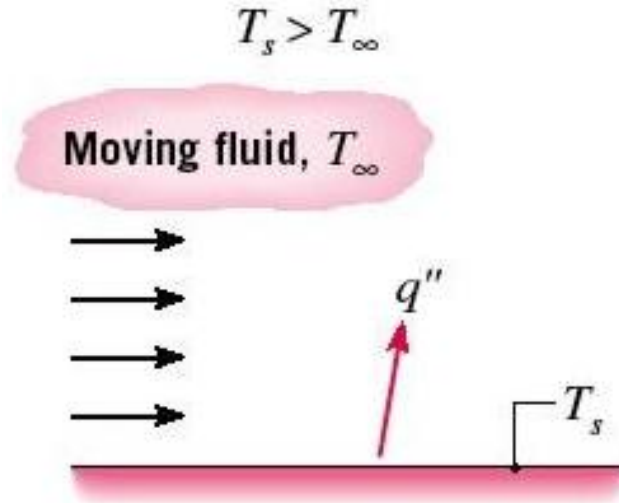


Figura 3.2. Ejemplo de convección. [5]

Radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Esta radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas o alternativamente, fotones.

La radiación, a diferencia del resto de transferencias de energías analizadas anteriormente, es la única que no precisa de un medio natural.

Establecemos un límite máximo para la potencia emisiva establecida por la ley de Stefan-Boltzmann. Esta expresión es aplicable a las superficies conocidas como cuerpo negro.

$$E_b = \sigma T_s^4$$

Donde,

- $E_b = \text{Potencia máxima emisiva superficial. [W/m}^2\text{]}$
- $\sigma = \text{Constante de Stefan Boltzmann. [W/m}^2 \cdot \text{K}^4\text{]}$
- $T_s = \text{Temperatura absoluta de la superficie. [K]}$

Sin embargo, el flujo de calor emitido por una superficie real es menor que el emitido por un cuerpo negro. Por lo que ajustamos la ecuación de Stefan-Boltzmann mediante el parámetro de la emisividad, una propiedad radiativa de la superficie que varía entre 0 y 1, representando la eficiencia con la que una superficie emite con relación a un cuerpo negro, obteniendo la siguiente expresión.

$$E = \sigma \varepsilon T_s^4$$

Donde,

- $E = \text{Potencia emisiva superficial. } [W/m^2]$
- $\varepsilon = \text{Permisividad. } []$

Sin embargo, la radiación puede incidir sobre la superficie de forma no directa, sino sobre sus alrededores. Para no tener en cuenta la fuente, designamos la velocidad a la que toda la radiación incide sobre la superficie como irradiación.

La irradiación puede ser absorbida por la superficie de manera total o parcial, dependiendo de un factor conocido como absorptividad que varía de 0 a 1 en la siguiente expresión.

$$G_{abs} = \alpha G$$

Donde,

- $G_{abs} = \text{Irradiación absorbida. } [W/m^2]$
- $\alpha = \text{Absortividad. } []$
- $G = \text{Irradiación. } [W/m^2]$

De esta forma podemos establecer la ecuación para cuantificar la transferencia de calor por radiación, que, en el caso de tratarse de una superficie gris, donde $\alpha = \varepsilon$, queda de la siguiente forma.

$$q''_{rad} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{alr}^4)$$

Donde,

- $q''_{rad} = \text{Flujo de calor por radiación. } [W/m^2]$

- $T_s = \text{Temperatura de la superficie. [K]}$
- $T_{alr} = \text{Temperatura de los alrededores. [K]}$

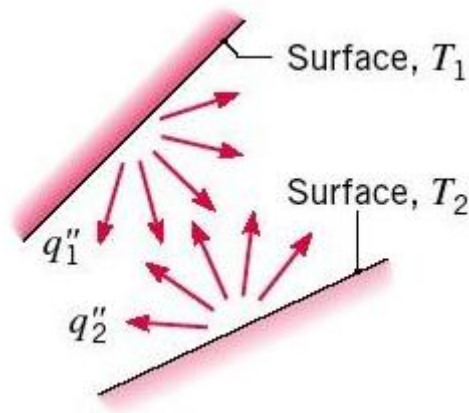


Figura 3.3. Ejemplo de Conducción [5]

Circuito Térmico Equivalente

Para realizar este proyecto y asignar los valores correspondientes a Energy Plus, vamos a utilizar el método del circuito térmico para hallar el coeficiente global de transferencia de calor.

Primero de todo, el método del circuito térmico consiste en realizar una analogía entre la difusión térmica y la carga eléctrica, asociando una resistencia térmica con la conducción de calor igual que se asocia una resistencia eléctrica a la conducción de electricidad.

De esta forma aplicaremos la Ley de Ohm a la transferencia de calor, transformando la Ley de Ohm de la siguiente manera.

$$q = \Delta T / R_t$$

Donde,

- $q = \text{Flujo de calor. [W]}$
- $\Delta T =$
Diferencia de temperaturas a ambos lados de la resistencia. [K]
- $R_t = \text{Resistencia térmica. [K/W]}$

Utilizando esta expresión podemos realizar de forma fácil el circuito térmico para hallar el calor transferido.

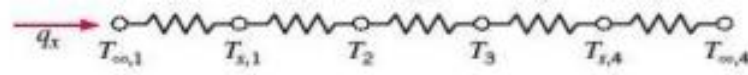


Figura 3.4. Ejemplo de Circuito Térmico Equivalente. [5]

Coeficiente Global de Transferencia de Calor

Para realizar nuestro proyecto, el parámetro que estamos buscando y que vamos a usar con Energy Plus es el coeficiente global de transferencia de calor.

Este coeficiente se designa como U y viene definido con una expresión análoga a la ley de Newton.

$$q_x = UA\Delta T$$

Donde,

- $q_x = \text{Flujo de calor en la dirección } x. [W]$
- $U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor. } [W/K \cdot m^2]$
- $A = \text{Área por el que fluye el flujo de calor. } [m^2]$
- $\Delta T = \text{Diferencia total de temperatura. } [K]$

Si comparamos las ecuaciones podemos observar como el coeficiente de transferencia de calor es un parámetro basado en la resistencia total de nuestro circuito. De forma que vamos a obtenerlo con la siguiente expresión.

$$U = \frac{1}{R_{tot} \cdot A} = \frac{1}{\sum R_t \cdot A}$$

Donde,

- $R_{tot} =$
Suma de todas las resistencias térmicas de un circuito térmico. $[K/W]$

2. Carga Térmica.

Se define carga térmica como la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo [W] que un recinto cerrado intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior.

Será esta carga térmica la que utilicemos para dimensionar nuestro sistema de climatización.

Aunque para hallar esta carga vamos a servirnos del programa Energy Plus, el cuál en ocasiones utiliza expresiones propias derivadas de los parámetros introducidos, también vamos a hacer un repaso teórico a las distintas cargas que influyen en el cálculo total del edificio.

Carga Térmica por Transmisión.

Esta es la carga térmica producida por las condiciones exteriores del edificio. Se basa tanto en la transferencia de calor por conducción que hemos analizado anteriormente como en la transferencia de calor por convección.

Cada cerramiento del edificio tiene una carga por transmisión distinta basándose en el coeficiente global de transferencia de calor de cada material y en el área del mismo. De forma que tendremos que calcular el coeficiente de cada parte del edificio (muro, cubierta, suelo...) para realizar el cálculo.

También está incluida en esta carga térmica, la transferencia de calor producida por la convección del aire exterior e interior en contacto con las paredes del edificio.

Esta carga térmica viene dada por la siguiente expresión.

$$\dot{Q}_{trans} = \sum \dot{Q}_i = \sum U_i A_i (T_{ext} - T_{int})$$

Donde,

- \dot{Q}_{trans} = Carga térmica total por transmisión. [W]
- \dot{Q}_i = Carga térmica por transmisión de cada elemento. [W]
- U_i =
Coeficiente global de transferencia de calor de elemento. $[W/K \cdot m^2]$

- $A_i = \text{Área de transmisión de calor de cada elemento. [m}^2\text{]}$
- $T_{ext} = \text{Temperatura ambiente exterior. [K]}$
- $T_{int} = \text{Temperatura interior deseada. [K]}$

Cabe destacar que la carga por transmisión puede ser tanto positiva como negativa, dependiendo de la época del año y la temperatura exterior.

Carga Térmica por Radiación Solar.

Llamamos carga térmica por radiación solar, a aquella carga producida por la radiación del sol que atraviesa superficies translúcidas y transparentes (como en nuestro caso son los cristales del edificio), calentando la temperatura interior del ambiente.

La expresión viene dada de la siguiente forma.

$$\dot{Q}_{rad} = I A f$$

Donde,

- $\dot{Q}_{rad} = \text{Carga térmica por radiación solar. [W]}$
- $I = \text{Radiación solar que atraviesa la superficie. [W/m}^2\text{]}$
- $A = \text{Área atravesada por la radiación. [m}^2\text{]}$
- $f = \text{Factor de corrección de la radiación. []}$

La carga térmica por radiación solar siempre va a ser positiva.

Carga Térmica por Renovación

La carga térmica por renovación viene por la necesidad de renovar el aire de un espacio cerrado por cuestiones sanitarias.

El número de renovaciones viene dado por el RITE, y en nuestro caso explicaremos los valores cogidos en el siguiente capítulo.

La ecuación que utilizamos para calcular la carga térmica por renovación es la siguiente.

$$\dot{Q}_{renov} = \dot{V}_{renov} C_{p\text{aire}} \rho_{\text{aire}} (T_{ext} - T_{int})$$

Donde,

- $\dot{Q}_{renov} = \text{Carga térmica por renovación de aire. [W]}$
- $\dot{V}_{renov} = \text{Flujo de aire a renovar. [l/s]}$
- $C_{paire} = \text{Calor específico del aire. [J/Kg} \cdot K]$
- $\rho_{aire} = \text{Densidad del aire. [J/Kg} \cdot K]$
- $T_{ext} = \text{Temperatura ambiente exterior. [K]}$
- $T_{int} = \text{Temperatura interior deseada. [K]}$

Carga Térmica por Infiltración

La carga térmica por infiltración resulta de la introducción de aire exterior por motivos no deseados o no estimables, como puede ser el abrir puertas o ventanas puntualmente o la introducción de aire en grietas.

Normalmente al no poderse hacer un cálculo exacto de esta carga, podemos estimarlo mediante coeficientes a partir de la carga por ventilación.

Carga Térmica por Iluminación

La carga térmica por iluminación proviene del calor irradiado por el sistema de iluminación del edificio.

Para calcularla es necesario calcular la potencia consumida por cada incandescente y considerar que actúan como potencia calorífica. En nuestro caso ya tenemos hecho el recuento del capítulo uno y solo tendremos que adecuarlo al parámetro necesario para Energy Plus.

Carga Térmica por Ocupación

La carga térmica por la ocupación del edificio viene dada por la estimación de que cada persona aporta 100 W de potencia calorífica.

Para calcularla al igual que con la carga térmica por iluminación, haremos un recuento teniendo en cuenta la colocación de los empleados por cada planta del edificio, y ajustaremos el valor a lo que Energy Plus necesite.

Balance de Carga Térmica

De esta forma la carga térmica total del edificio va a ser un sumatorio de las diferentes cargas mencionadas anteriormente.

Si bien es cierto que esta carga teóricamente suele ser calculada de diferente forma para invierno y para verano, en nuestro caso al utilizar el programa Energy Plus, se van a calcular de la misma forma, lo que otorga una mayor exactitud al cálculo.

De forma que:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{renov} + \dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_{ilum} + \dot{Q}_{ocup}$$

Donde,

- \dot{Q}_{total} = Carga térmica total de la zona a climatizar.
- \dot{Q}_{trans} = Carga térmica por transmisión.
- \dot{Q}_{rad} = Carga térmica por radiación solar.
- \dot{Q}_{renov} = Carga térmica por renovación de aire.
- \dot{Q}_{inf} = Carga térmica por infiltración de aire.
- \dot{Q}_{ilum} = Carga térmica por iluminación.
- \dot{Q}_{ocup} = Carga térmica por ocupación.

Dependiendo de las condiciones termohigrométricas exterior el valor de las distintas cargas térmicas puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura exterior.

En el caso de la carga térmica por radiación solar, esta puede variar del valor correspondiente a cero, en caso de que no reciba radiación exterior.

Por otro lado, las cargas por iluminación y ocupación siempre van a ser positivas ya que aportan calor a la estancia sin importar las condiciones exteriores.

3. Ciclo de Refrigeración.

Una vez hemos explicado la teoría de la transferencia de calor y el concepto y cálculo de carga térmica es necesario explicar el funcionamiento de un sistema de climatización y el ciclo de refrigeración.

El ciclo que vamos a utilizar para la climatización de nuestro edificio es el ciclo de refrigeración por vapor de refrigerante, en nuestro caso, como comentaremos más adelante, el refrigerante R-410A.

Este ciclo de compresión de vapor surge de la aplicación del Ciclo Inverso de Carnot, que se basa en el transporte de calor y frío entre dos focos, uno frío y uno caliente, cuando un trabajo es aplicado sobre el ciclo.

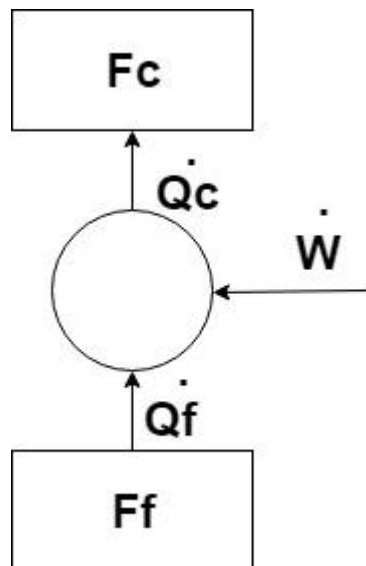


Figura 3.5. Ciclo Inverso de Carnot.

En nuestro caso vamos a tomar como hipótesis una evolución cíclica del ciclo termodinámico y una temperatura en los focos constantes de forma que el incremento de energía del ciclo sea cero.

De esta forma el balance de energía del ciclo es el siguiente.

$$\Delta \dot{E} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = 0$$

Donde,

- \dot{E} = Energía interna del Ciclo.

- $\dot{Q} = \text{Calor intercambiado en el Ciclo.}$
- $\dot{W} = \text{Trabajo del Ciclo.}$

De forma que, volviendo al ciclo de refrigeración, podemos expresar la siguiente expresión.

$$\dot{Q}_F - \dot{Q}_C - (-\dot{W}) = 0$$

$$\dot{W} = \dot{Q}_C - \dot{Q}_F$$

Donde,

- $\dot{Q}_F = \text{Calor extraído del foco frío.}$
- $\dot{Q}_C = \text{Calor transmitido al foco caliente.}$
- $\dot{W} = \text{Trabajo realizado sobre el ciclo.}$

Ciclo de compresión de refrigerante.

De esta forma vamos a diseñar nuestro sistema de climatización utilizando un ciclo termodinámico basado en la compresión de vapor del refrigerante R-410A.

Este ciclo está formado por un compresor que se encarga de producir el trabajo para el ciclo, un evaporador donde el ciclo absorbe calor, un condensador donde el calor es expulsado y una válvula de expansión donde se produce una expansión isentrópica para completar el círculo.

El ciclo queda representado de la siguiente forma.

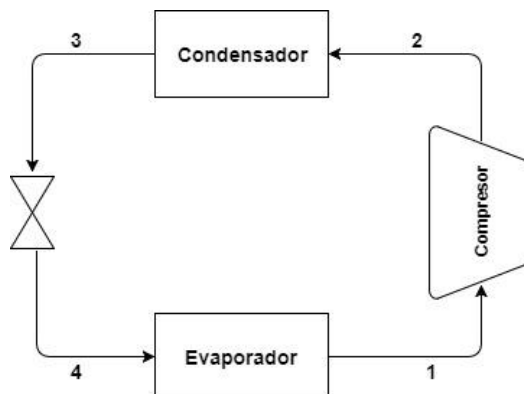


Figura 3.6. Ciclo por Compresión de Vapor

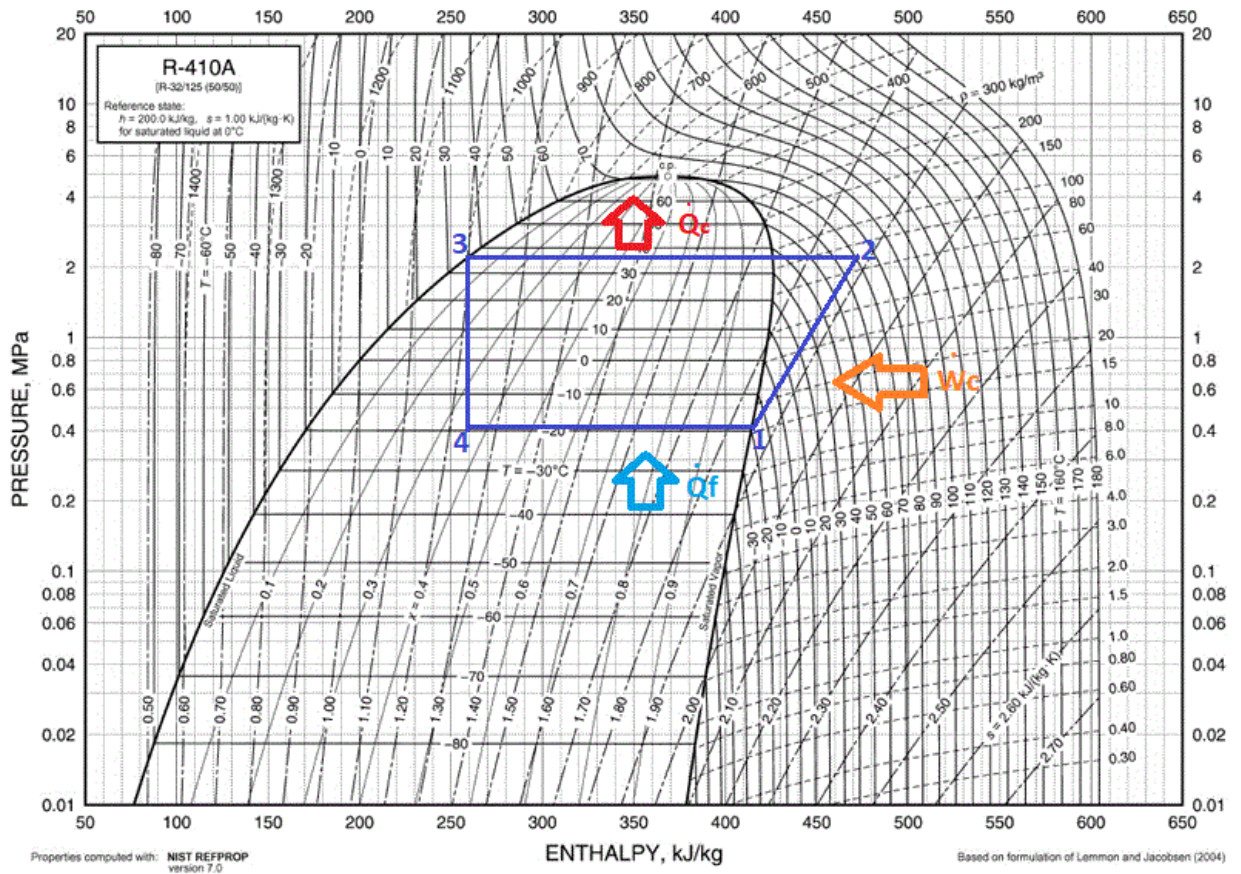


Figura 3.7. Diagrama P-h R410A

Este ciclo se puede representar en el diagrama presión-entalpía (diagrama de Mollier) del refrigerante R-410A.

El diagrama p-h representado muestra el ciclo que sigue el refrigerante R410A para su uso para climatización.

Los procesos seguidos son los siguientes.

- 1-2: Compresión Isentrópica.
- 2-3: Cesión de calor a presión constante.
- 3-4: Expansión isoentrópica.
- 4-1: Absorción de calor a presión constante.

De esta forma podemos definir las siguientes expresiones para el ciclo termodinámico.

- $\dot{Q}_F = m(h_1 - h_4)$
- $\dot{Q}_C = m(h_2 - h_3)$

- $\dot{W}_C = m(h_2 - h_1)$

Por último, vamos a introducir el parámetro para la identificación de la eficiencia del ciclo, este es conocido como Coeficiente de Rendimiento (COP) y dependiendo de si estamos refrigerando o calentando, será el COP de refrigeración o de bomba de calor.

Sin embargo, con el objetivo de ser más claros en el proyecto y estableciendo los mismos criterios que Daikin utiliza para sus aparatos de climatización, como veremos posteriormente, llamaremos COP únicamente al coeficiente de rendimiento de la bomba de calor y EER (Eficiencia Energética del Ciclo de Refrigeración) al COP en el caso de la refrigeración.

- $COP_{bomba\ de\ calor} = COP = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}_C} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$
- $COP_{refrigeración} = EER = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_C} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$

Bomba de Calor

Dado que lo normal es que la zona a climatizar tenga tanto necesidad de calor como de frío, dependiendo de la época del año, vamos a utilizar un sistema que sea capaz de responder en ambas situaciones.

Para ello se utilizan sistemas que incluyan una válvula de cuatro vías, capaz de redirigir el refrigerante, de forma que se pueda suministrar tanto frío como calor a nuestra zona a climatizar.

EL funcionamiento de la válvula de cuatro vías se muestra en la siguiente imagen.

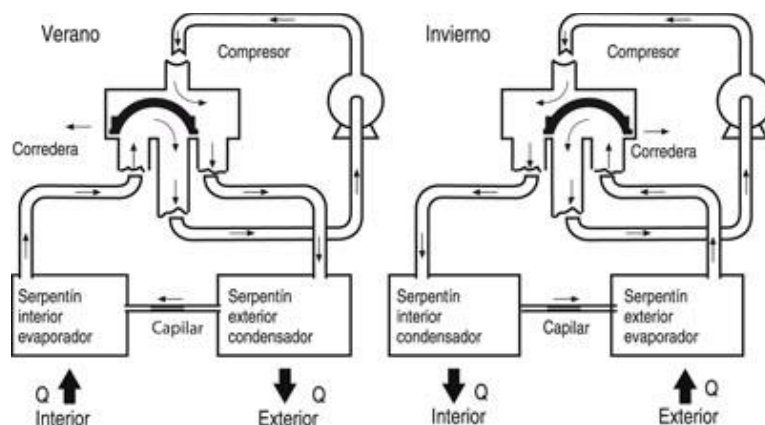


Figura 3.8. Funcionamiento Válvula de Cuatro Vías [6]

CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE PARÁMETROS DEL EDIFICIO

1. Cálculo de Parámetros Estructurales del Edificio.

Tal como hemos explicado en el capítulo anterior los cálculos de Energy Plus están basados en el coeficiente global de transferencia de los muros exteriores ya que puesto que todo el edificio va a estar climatizado a la misma temperatura las particiones interiores no van a tener ninguna importancia.

De esta forma vamos a analizar los distintos elementos estructurales del edificio necesarios para realizar el estudio térmico.

Es necesario señalar que con el objetivo de simplificar tanto cálculos como diseño de Energy Plus vamos a prescindir del sótano de la empresa, el cual no está climatizado.

– Cerramientos.

Podemos encontrar dos elementos claramente diferenciados en la fachada de nuestro edificio, por un lado, un cerramiento formado por granito, y por otro lo comúnmente conocido como muro cortina. Para hallar la transmitancia térmica de ambos elementos nos hemos apoyado tanto en el Libro del Edificio como en estudios y observaciones realizadas por el Departamento de Calidad de la empresa.

En este cálculo vamos a simplificar la transferencia producida por convección tomando como resistencias exterior e interior (R_{se} y R_{si}) las marcadas por el Código Técnico de la Edificación.

Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $m^2 \cdot K / W$

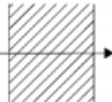
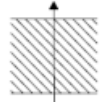
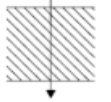
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Figura 4.1 Resistencias Térmicas Superficiales de Cerramientos

Obteniendo para los cerramientos de granito los siguientes resultados.

Cerramiento de Granito	k [W/mK]	e [m]	Resis. [Km ² /W]	U [W/m ² K]
-Rse			0,13	0,23
-Chapado de Granito	2,80	0,08	0,03	
-Cámara de aire			2,00	
-Poliuretano Proyectado	0,25	0,04	0,15	
-Medio pie de ladrillo	0,85	0,15	0,18	
-Aislamiento con fibra de vidrio	0,05	0,04	0,84	
-Pladur	0,18	0,15	0,83	
-Rsi			0,13	

Tabla 4.1. Estructura Cerramiento de Granito

Mientras que para el muro cortina, nombre conocido para el sistema de fachada acristalada que se construye por delante de la estructura resistente del edificio, calculamos los siguientes valores. El vidrio utilizado para el muro cortina es el ST420 cuyas especificaciones técnicas vienen anexas al documento.

Muro Cortina	k [W/mK]	e [m]	Resis. [Km ² /W]	U [W/m ² K]
-Rse			0,13	0,32
-Vidrio ST420			0,19	
-Panel sándwich	0,04	0,04	1,00	
-Aislamiento con fibra de vidrio	0,05	0,04	0,84	
-Pladur	0,18	0,15	0,83	
-Rsi			0,13	

Tabla 4. 2. Estructura Muro Cortina

Por su parte la cubierta, está formado por los siguientes elementos.

Cubierta	k [W/mK]	e [m]	Resis. [Km ² /W]	U [W/m ² K]
-Rse			0,10	0,29
-Mortero de Cemento	1,8	0,07	0,04	
-Capa de impermeabilización	0,17	0,002	0,01	
-Capa separadora geotextil	0,05	0,001	0,02	
-Baldosas de hormigón filtrante y base de poliestireno	0,063	0,2	3,17	
-Rsi			0,10	

Tabla 4.3. Estructura Cubierta

Por último, tenemos que dar la estructura del forjado. Dado que ha sido imposible localizar su estructura en el libro del edificio, vamos a suponer un forjado estándar, utilizando el que viene por defecto en Energy Plus.

Forjado Terreno	k (W/mK)	e (m)	Resis. (Km ² /W)	U (W/m ² K)
-Rse			0,04	0,95
-Tierra Vegetal	0,52	0,35	0,67	
-Hormigón	1,65	0,25	0,15	
-Mortero Cemento	0,55	0,01	0,02	
-Rsi			0,17	

Tabla 4.4 Estructura Forjado Terreno

– Ventanas.

El otro elemento que encontramos en el edificio son las ventanas, las cuales están hechas del mismo vidrio que el muro cortina, pero sin estructura resistente (para permitir la visibilidad y que no sean opacos).

Vidrio ST420	Factor solar g_{en410}	Coeficiente de Sombra	U [W/m ² K]
	0,28	0,32	5,2

Tabla 4.5. Propiedades Vidrio ST420

2. Cálculo de Cargas Sensibles del Edificio.

Una vez hemos explicado la teoría y el cómo calcular las cargas sensibles que afectan en el estudio de cargas térmicas de un edificio, necesitamos calcular ciertos parámetros de éstas. Dado que el software de Energy Plus se encarga de hacer los cálculos necesarios para estimar la carga térmica correspondiente, nuestra labor será introducir las variables necesarias para que pueda realizar este proceso.

– Renovación.

Para calcular la ventilación mínima de un edificio de oficinas, seguimos el código técnico de la edificación, y en la sección CTE DB-HE 2, ‘categorías de calidad del aire interior en función de los edificios’, encontramos las siguientes exigencias.

categ	dm ³ /s.p
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Figura 4.2. Calidad de Aire CTE

Donde el IDA 1, representa un aire de óptima calidad y el IDA 2, aire de buena calidad.

La calidad de aire óptima es necesaria únicamente para hospitales, clínicas o laboratorios, mientras que aire de buena calidad se entiende adecuado para oficinas y residencias, por lo que el valor de ventilación que utilizaremos para nuestro estudio térmico será el de $12.5 \frac{l}{s}$ por persona.

– Carga térmica por ocupación.

Para calcular la carga térmica del edificio debido a la actividad de las personas, debemos introducir dos variables en Energy Plus, la carga calorífica estimada por persona (la cual vamos a estimar en 100 W), y el ratio de personas por cada zona, para lo cual vamos a utilizar los planos de actividad del edificio (anexos al documento), y calcularemos el número de personas por metro cuadrado de cada planta.

- *Actividad Planta Baja* $\left[m^2/persona\right] = \frac{733}{72} \cong 10$
- *Actividad Primera Planta* $\left[m^2/persona\right] = \frac{733}{70} \cong 10.5$
- *Actividad Segunda Planta* $\left[m^2/persona\right] = \frac{733}{49} \cong 15$

– Carga Térmica por Iluminación.

El único parámetro necesario para calcular la carga por iluminación es la potencia luminosa por metro cuadrado, por lo que teniendo calculada la potencia de iluminación por planta (Capítulo 1), solo es necesario dividir entre la superficie del edificio.

- *Ratio Iluminación Planta Baja* $\left[W/m^2\right] = \frac{12920}{733} \cong 17.5$
- *Ratio Iluminación Primera Planta* $\left[W/m^2\right] = \frac{12230}{733} \cong 16.5$
- *Ratio Iluminación Segunda Planta* $\left[W/m^2\right] = \frac{10894}{733} \cong 15$

– Carga Térmica por Otros Usos Electrónicos.

Puesto que la mayoría del uso electrónico se debe a ordenadores, impresoras y aparatos de tipo ofimático, vamos a suponer nula esta carga térmica ya que realmente el calor producido por estos aparatos es prácticamente nulo y si tuviésemos en cuenta la potencia eléctrica de cada uno de ellos los resultados quedarían completamente alterados.

CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE LA CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO

1. Introducción.

Para realizar el estudio de cargas térmicas vamos a utilizar el Programa Energy Plus, un programa informático desarrollado por el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), con el que podremos calcular tanto la demanda energética como de cualquier edificio.

También utilizaremos como herramienta puente, el programa Genera 3D, desarrollado por el Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia.

Con Genera 3D podremos definir tanto las características como las dimensiones de nuestro edificio, y exportar estos resultados a Energy Plus, para que realice los cálculos pertinentes.

Por último, para poder utilizar Genera 3D, necesitaremos definir la fachada de nuestro edificio y sus diferentes zonas interiores, así como las ventanas. Esto lo explicaremos más detalladamente en los siguientes apartados, pero el programa que utilizaremos para ello será Autocad.

2. Realización de Planos para Genera 3D.

Cómo hemos explicado anteriormente, nuestro programa puente para definir la geometría y las propiedades del edificio va a ser GENERA 3D, al que tendremos que introducir los planos del edificio en el archivo *dfx*.

Estos planos no son planos normales si no que tienen que tener unas especificaciones con las que definir las zonas del edificio por planta, el nombre de estas zonas y las ventanas y sus respectivas alturas.

Para ello con Autocad haremos un plano por planta, y en estos planos deben estar presentes las tres capas siguientes:

- ‘*LIDER*’: Capa formada por polilíneas con las que definiremos las diferentes zonas del edificio.
- ‘*V_LIDER[x][y]*’: Capa formada por líneas, donde se definen las ventanas de la planta correspondiente del edificio. ‘*X*’ representa la altura total de la

ventana, mientras que 'Y' nos señala la distancia entre el suelo de la planta correspondiente y la ventana.

- 'TEXTO_LIDER': Capa formada por líneas de texto con las que pondremos nombre a las diferentes zonas.

De esta forma procedemos a realizar nuestros planos, teniendo de capa base los planos de climatización del edificio, ya que vamos a definir cada espacio del cuál queremos calcular su carga térmica dependiendo de la localización de cada unidad interior de clima.

Como ejemplo para mostrar los pasos realizados vamos a poner el procedimiento llevado a cabo para la planta primera ya que el resto de plantas sigue exactamente los mismos pasos.

- Paso 1: Abrimos los planos de la planta del edificio.



Figura 5.1. Plano de Planta

- Paso 2: Zonificación de la planta mediante polilíneas, en la capa 'LIDER'.



Figura 5. 2. Zonificación del Plano

- Paso 3: Definición de ventanas mediante líneas en la capa 'V_LIDER' (Utilizando la capa LIDER como base).

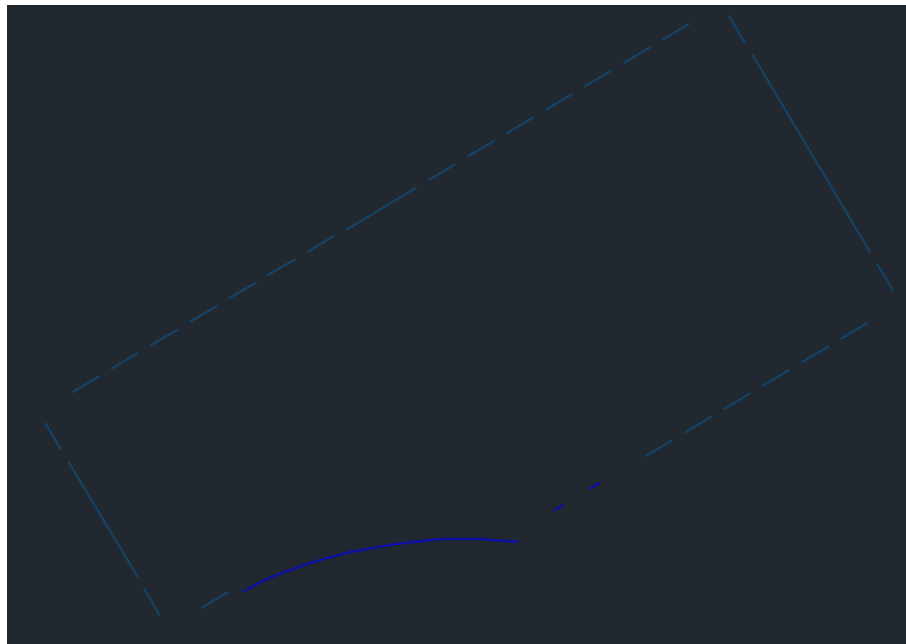


Figura 5.3. Definición de Ventanas

- Paso 4: Definición de nombres de cada zona creada en la capa TEXTO_LIDER.

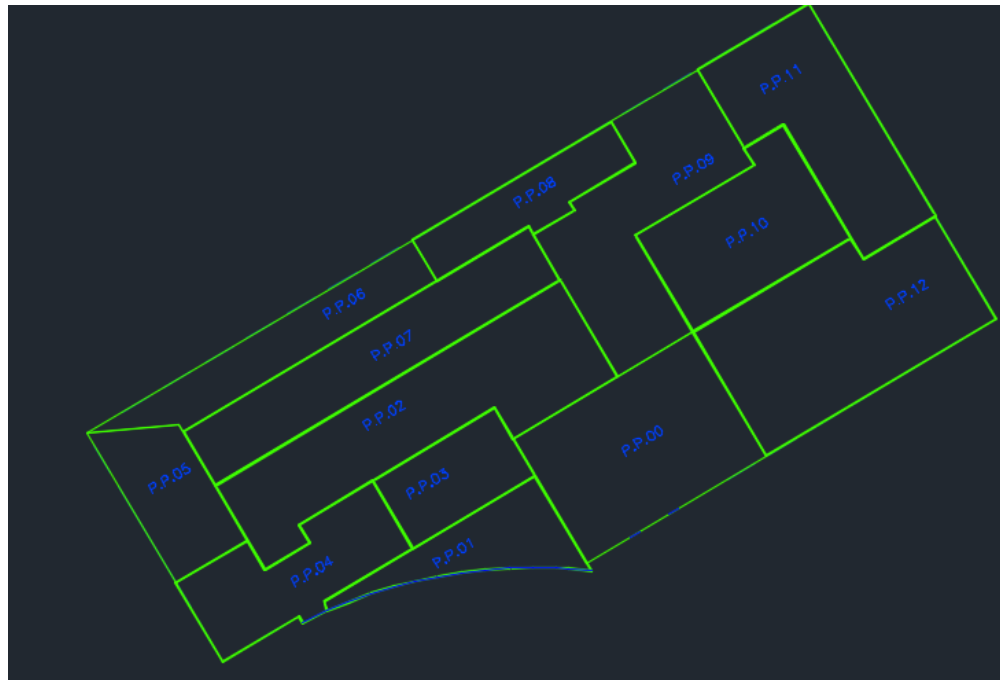


Figura 5.4. Definición de Zonas

Como hemos comentado previamente las otras dos plantas del edificio se realizan de la misma manera. Es importante recordar que los planos deben ser guardados en el archivo *.dxf*, que será con el que trabaje Genera3D.

3. Exportación a Energy Plus mediante Genera 3D.

Una vez tenemos nuestros planos hechos vamos a exportarlos a EnergyPlus mediante el programa Genera 3D, para ello ordenamos las plantas de nuestro edificio y les damos su altura relativa.

Después de rellenar los consiguientes datos, para lo cual hemos tenido que realizar las medidas convenientes de los planos del alzado del edificio (anexos al documento), generamos el 3D del edificio, obteniendo el siguiente resultado.

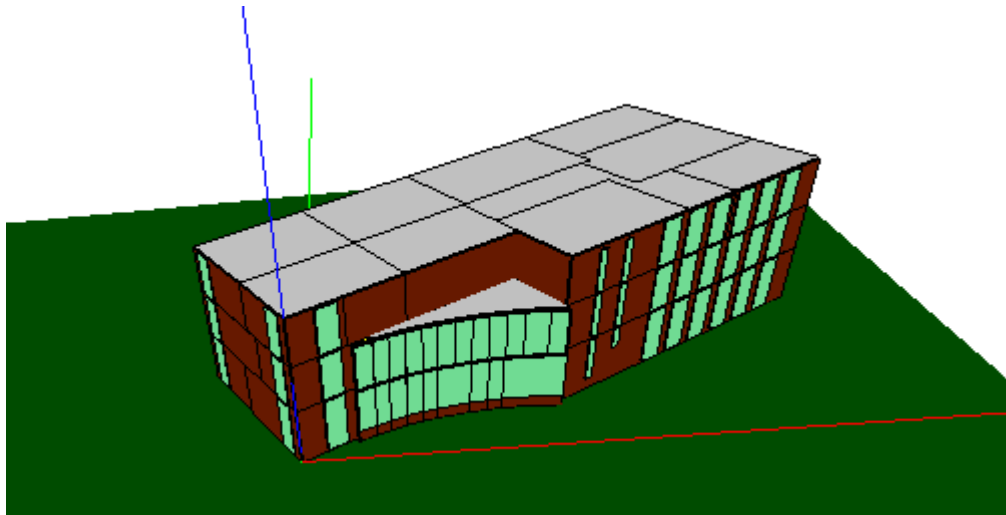


Figura 5.5. Vista Tridimensional Delantera del Edificio

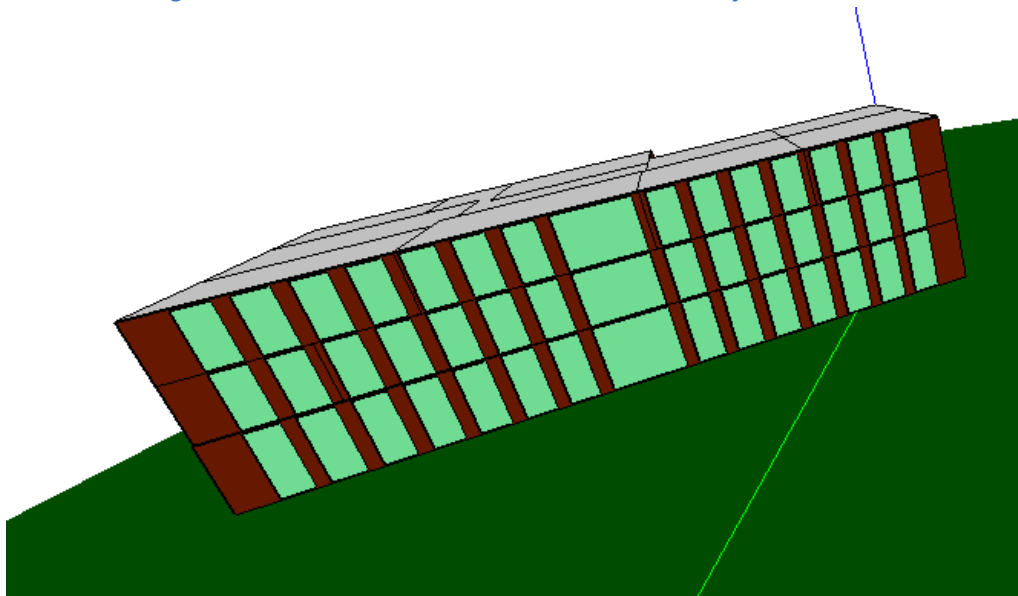


Figura 5.6. Vista Tridimensional Trasera del Edificio

Por comodidad también vamos a introducir en Genera3D las variables calculadas en el Capítulo 4, referentes a ventilación, ocupación e iluminación.

Una vez introducidos estos datos nuestro trabajo con Genera 3D ha terminado y será el momento de exportarlo a Energy Plus.

4. Editor Energy Plus.

Utilizando el editor de Energy Plus tenemos total libertad para establecer las características meteorológicas que creamos convenientes, sin embargo, también podemos cargar un archivo .epw en el que ya vienen estos datos por defecto (temperatura, humedad, velocidad de viento, etc.).

De esta forma, vamos a utilizar el archivo de clima de Madrid, proporcionado por Energy Plus y preparado por la Organización Meteorológica Mundial.

Por lo que cargando los datos climatológicos con el archivo mencionado y habiendo establecido todas las cargas sensibles y latentes (ventilación, iluminación...) en Genera 3D, los únicos parámetros que vamos a tener que introducir en el editor de Energy Plus van a ser los relacionados con la simulación del programa (periodo de tiempo a simular, horarios de ocupación e iluminación, etc.) y con la estructura del edificio, parámetros ya calculados en el apartado 4.1.

Para realizar la simulación de cargas debemos establecer unas temperaturas de confort. En nuestro caso vamos a establecer una banda de confort en las que no será necesario que funcione el sistema de climatización. Esta banda va a estar diseñada entre 20°C y 25°C. Aunque es una banda grande con ella pretendemos aprovechar la inercia térmica del sistema de climatización para climatizar el edificio. Además, también queremos aprovechar el diseño para ahorrar la máxima energía posible para no tener que enfriar o calentar el edificio en exceso y evitar desperdicios de energía.

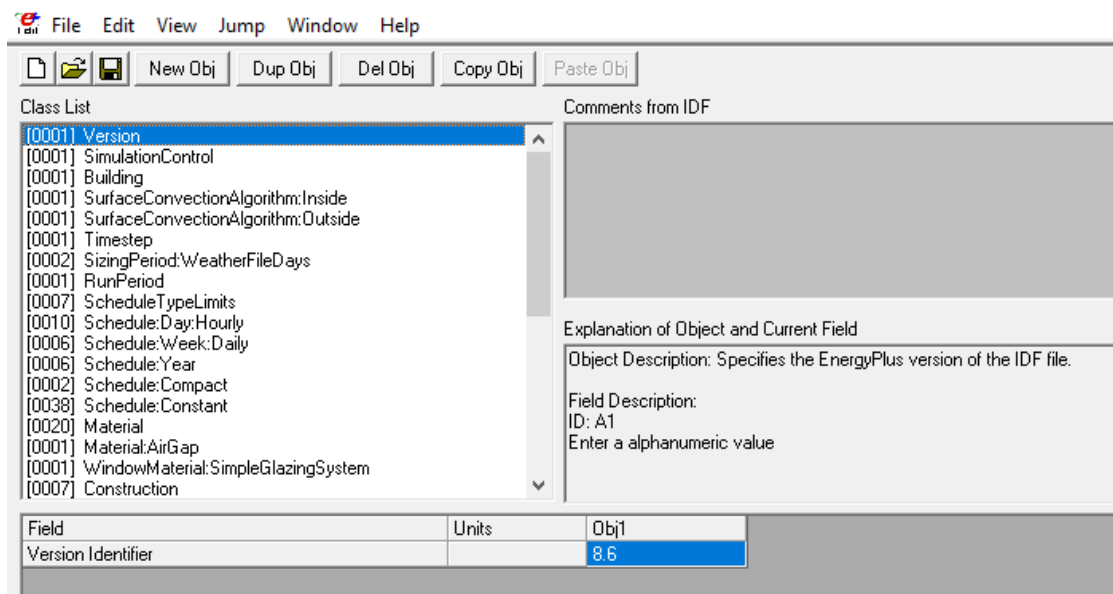


Figura 5.7. Interfaz Editor Energy Plus

Una vez tengamos todos los parámetros establecidos podremos realizar la simulación de cargas. Nuestra estrategia va a ser realizar una simulación de todos los días tanto de verano como de invierno y de esta forma obtendremos dos resultados.

- El valor máximo de la carga térmica por cada zona de un día estándar, el cuál utilizaremos para elegir los equipos de climatización adecuados.
- La curva de la carga térmica anual del edificio, tanto para refrigeración como para calefacción, las cuales tomaremos como referencia para calcular el nuevo consumo eléctrico y utilizaremos para analizar el efecto de nuestra MAE.

Cabe suponer que el valor de trabajo máximo del equipo de climatización venga dado por las condiciones climáticas de verano, ya que en un clima tan cálido como el de Madrid, junto a la alta actividad térmica de un edificio de oficinas hace esperar una mayor carga térmica a combatir en condiciones climáticas calurosas.

Con todos los datos y parámetros establecidos procedemos a realizar la simulación de cargas, con Energy Plus.

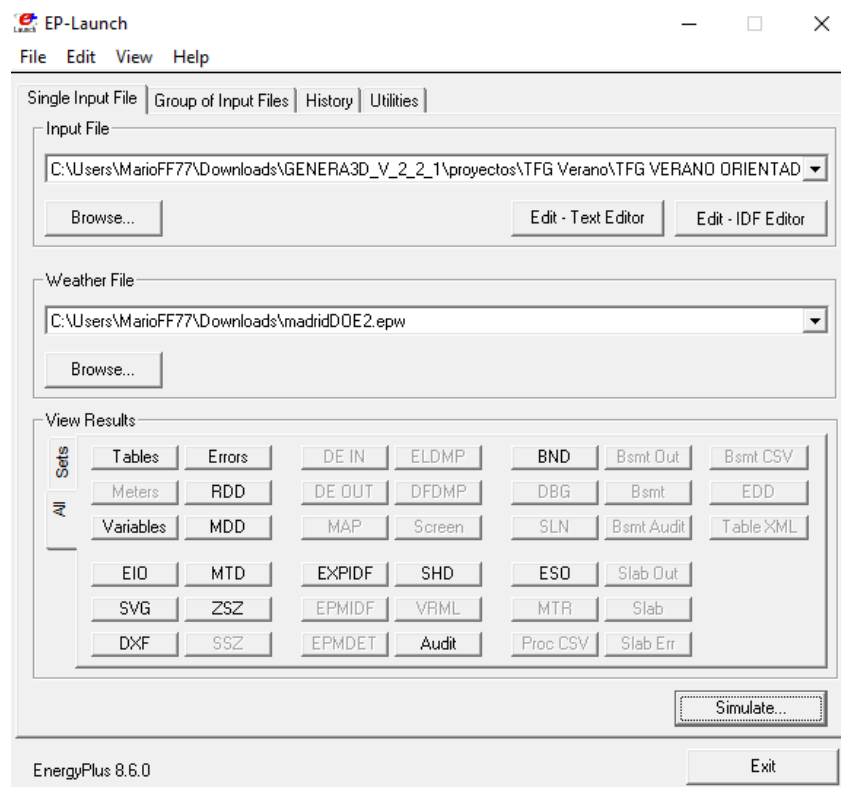


Figura 5.8. Simulación Energy Plus

Una vez hecha la simulación se generará un archivo .ctv., que importaremos desde Excel con todos los datos generados.

Es aquí donde podremos ver los valores máximos de la carga térmica por cada zona.

	Calculated Design Load [W]	Calculated Design Load [W]
P.B.01	7783.74	1309.55
P.B.03	3330.28	509.86
P.B.05	2261.15	473.59
P.B.02	2818.91	328.02
P.B.04	544.39	0.00
P.B.06	746.67	0.00
P.B.07	2606.61	503.41
P.B.08	4244.34	556.66
P.B.00	1859.29	0.00
P.B.11	960.33	0.00
P.B.09	1939.96	209.18
P.B.10	255.12	0.00
P.B.12	5663.81	818.74
P.B.13	634.27	0.00
P.P.01	8625.77	1149.11
P.P.03	531.75	0.00
P.P.04	2835.74	17.26
P.P.02	1381.30	0.00
P.P.07	1327.92	0.00
P.P.08	3585.83	760.07
P.P.00	2297.18	0.00
P.P.05	1662.74	0.00
P.P.06	4610.23	989.40
P.P.09	2208.69	0.00
P.P.11	2570.93	16.87
P.P.12	5354.92	0.00
P.P.10	819.11	0.00
P.S.03	3630.22	487.60
P.S.02	2595.70	270.74
P.S.01	1155.75	0.00
P.S.00	2446.26	0.00
P.S.07	1769.62	0.00
P.S.06	3690.71	564.31

P.S.09	2629.82	0.00
P.S.04	3337.38	169.51
P.S.08	3545.35	550.88
P.S.05	4542.93	325.45

Tabla 5.1. Carga Térmica por Zona

Mediante el programa xEsoView, anexo a Energy Plus, podemos observar las cargas térmicas anuales del edificio durante todo el año.

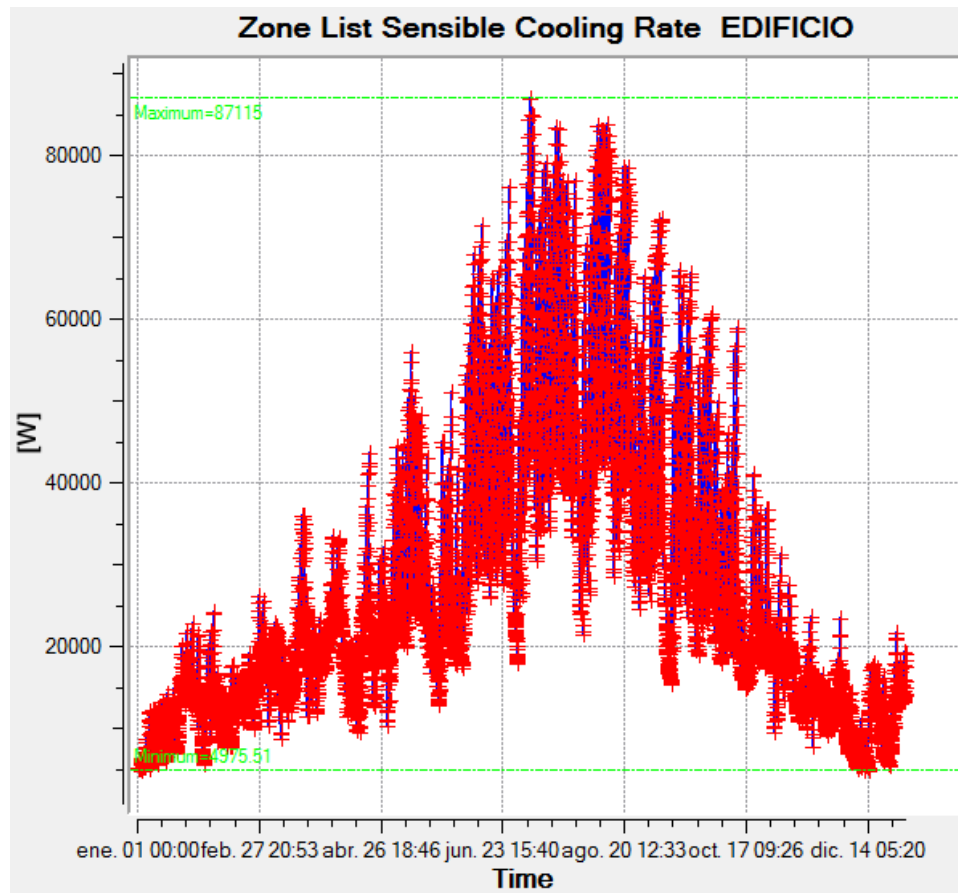


Figura 5.9. Carga Térmica Refrigeración

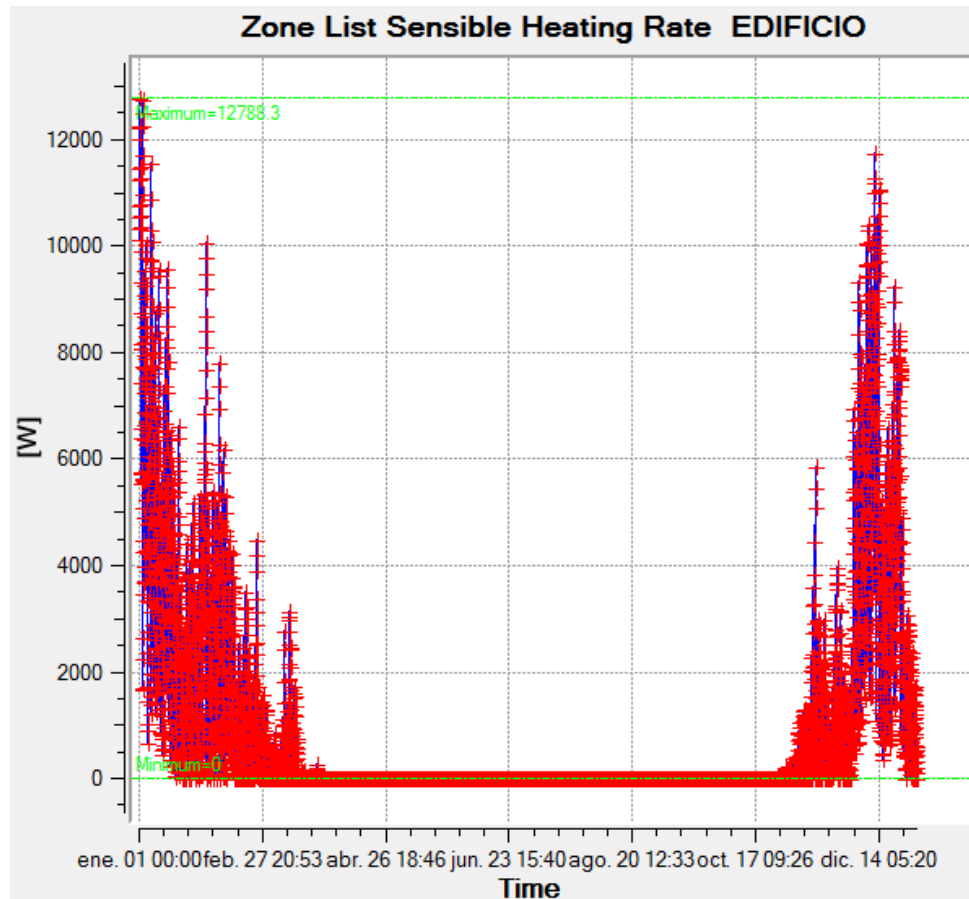


Figura 5.10. Carga Térmica Calefacción

Podemos observar como las cargas térmicas en verano superan ampliamente a las de invierno, esto sucede por las altas cargas internas debido a personas y luces.

A diferencia de un edificio de viviendas, donde las luces están apagadas en la mayoría del edificio, y donde lo normal es un máximo de cuatro o cinco personas, en un edificio destinado a oficinas, toda la iluminación del edificio se encuentra encendida durante la jornada laboral. Además, tal como hemos explicado anteriormente hay un alto número de personas por superficie.

CAPÍTULO 6: NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.

1. Sistema VRV

Con el objetivo de aprovechar al máximo la instalación existente solo llevaremos a cabo un cambio de los equipos de climatización. De esta forma podremos seguir manteniendo el sistema de tuberías actual.

Como el edificio es climatizado mediante el uso de refrigerante mantendremos esta característica y usaremos para nuestros dispositivos el refrigerante R-410A, de gran eficiencia térmica y comúnmente utilizado por la gran mayoría de proveedores para sistemas de estas características.

Para conseguir la mayor eficiencia posible utilizaremos dispositivos VRV (Variable Refrigerant Volume), que nos permite conectar diferentes unidades interiores a una sola unidad exterior ofreciendo además de un claro ahorro de espacio y organización una gran flexibilidad en todo el sistema.

Existen tres tipos diferentes de sistemas VRV.

- Todo frío: Utilizado para situaciones en las que solo se necesita refrigeración, especialmente para uso industrial.
- Bomba de calor: Funciona como una bomba de calor convencional, pudiendo ofrecer tanto frío como calor, pero no ambas a la vez.

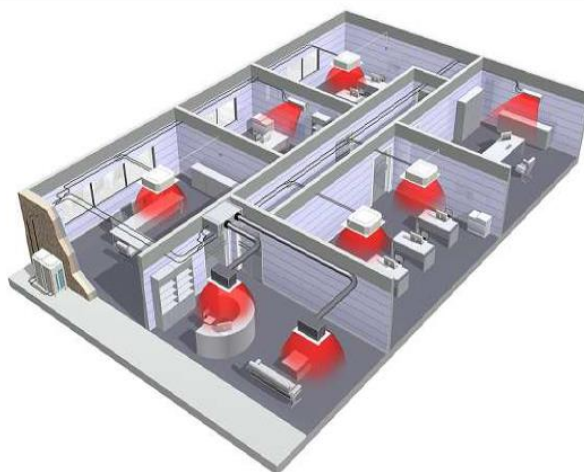


Figura 6.1. Bomba de Calor VRV

- **Recuperador de calor:** Este sistema, sin duda el más eficiente de los tres, se aprovecha de las características y la flexibilidad del sistema multi-split, para poder proporcionar calor y frío simultáneamente. Es un sistema de gran eficiencia que es capaz de extraer el calor de zonas que necesiten refrigeración y cederlo a otras que necesiten ser calefactadas. Se utiliza principalmente para grandes superficies como hoteles o centros comerciales, donde en determinadas horas del día, debido a la orientación del edificio, éste puede demandar tanto calor como frío.

El tipo de sistema VRV que queramos instalar está directamente ligado al sistema de tubos de la instalación.

Si la instalación de climatización es a dos tubos el sistema VRV como máximo puede ser una bomba de calor, ya que para instalarlo en modo recuperador de calor es necesario una instalación a tres tubos. Este tipo de instalaciones se corresponde por contar con tres tubos conectados a las unidades interiores, dos de ida (calor o frío) y uno de retorno. Es el tubo extra de ida el que nos permite la flexibilidad de ofrecer calor y frío simultáneamente como podemos observar en la siguiente imagen.

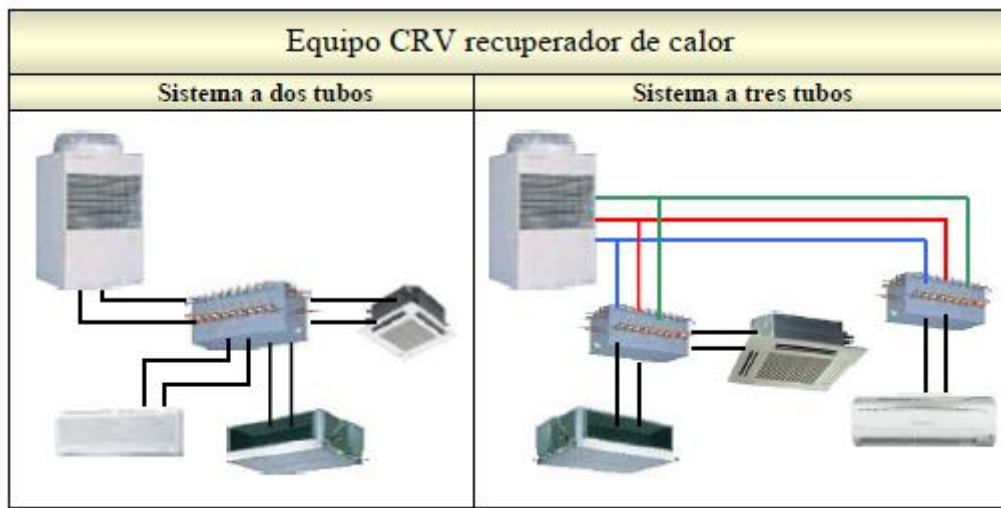


Figura 6.2. Diferente sistema a tubos VRV [11]

2. Tecnología Inverter

Este sistema de clima VRV tiene su base en la tecnología Inverter, esta tecnología está basada en la variación de trabajo del compresor, que es capaz de girar a distintas velocidades dependiendo de la carga en cada momento, puesto que la demanda de refrigerante se ajusta a la demanda térmica en cada momento.

Esta ventaja permite que, a diferencia de los sistemas de climatización convencionales, podamos trabajar a carga parcial, variando la velocidad de giro del compresor, haciendo que el consumo de energía disminuya notablemente.

Además, un sistema con tecnología Inverter nos permite llegar a la temperatura de confort más rápido, puesto que en el arranque del compresor este puede obtener velocidades mayores que la nominal. Esto, unido a la precisión utilizada para mantener la temperatura de confort (alejándonos del antiguo modelo ON-OFF de climatización), no solo ofrece una gran eficiencia energética, sino que también mejora de manera sustancial el grado de confort de las personas.

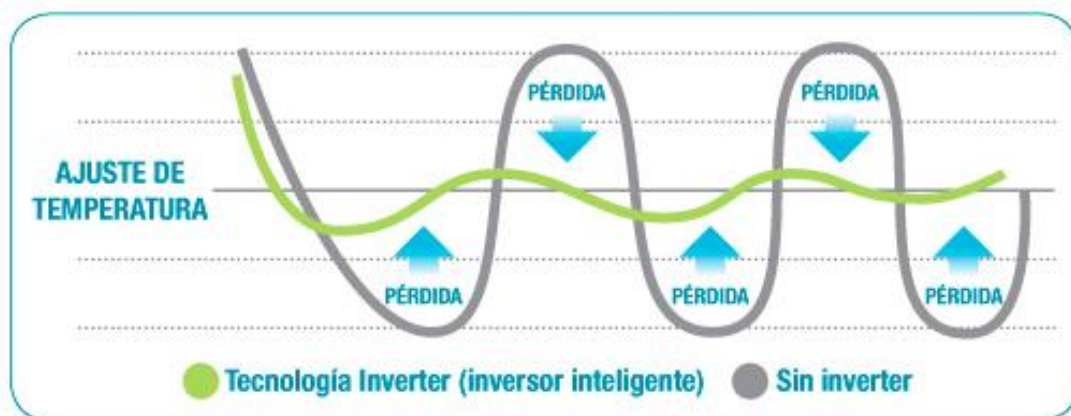


Figura 6.3. Funcionamiento Tecnología Inverter [12]

3. Unidades Exteriores.

Como hemos comentado anteriormente vamos a utilizar un sistema VRV en el que tengamos solo una unidad exterior. Esta unidad es clave pues es la que determina las capacidades de refrigeración y calefacción del sistema, así como el COP y el EER.

Para elegir la unidad adecuada, una vez más nos ponemos del lado más restrictivo, y sumaremos las potencias térmicas máximas de cada planta, eligiendo un equipo

que supere ese valor para tener claro que nuestro sistema de climatización siempre pueda cumplir con las premisas requeridas en cualquier momento.

	Carga Térmica Total [kW]	N.º Unidades
Planta Baja	35,64	14
Primera Planta	37,81	13
Segunda Planta	29,34	10

Tabla 6.1. Carga Térmica por Planta

Atendiendo a estas premisas vamos a elegir nuestros aparatos de la gama RXYQ, cuyas fichas técnicas están anexas a este documento.

De esta forma para la planta baja y la primera planta utilizaremos las unidades exteriores RXYQ14T mientras que para la segunda planta instalaremos la unidad RXYQ12T.



Figura 6.4. Unidad Exterior RXYQ

4. Unidades Interiores.

En el caso de las unidades interiores vamos a elegir las unidades de la gama FXSQ-A de Daikin cuyas fichas técnicas van anexas al documento.

En este tipo de terminales podemos observar un consumo despreciable (ya que el consumo del compresor se produce en la unidad exterior) correspondiente al ventilador que incluyen para calentar o enfriar el aire rápidamente. Sin embargo, vamos a tener en cuenta este consumo para poder realizar una estimación lo más cercana posible a la realidad.

Por ello nuestro criterio de elección va a basarse en la capacidad nominal de refrigeración de la unidad, comparando con los valores máximos de cada zona, asegurándonos que en el caso más desfavorable siempre podamos compensar la carga térmica.

Siguiendo este criterio y haciendo una comparación de valores, obtenemos la siguiente lista de unidades a instalar.

	Calculated Design Load [W]	Unidad Interior
P.B.01	7.783,74	FXSQ80A
P.B.03	3.330,28	FXSQ32A
P.B.05	2.261,15	FXSQ25A
P.B.02	2.818,91	FXSQ32A
P.B.04	544,39	FXSQ15A
P.B.06	746,67	FXSQ15A
P.B.07	2.606,61	FXSQ25A
P.B.08	4.244,34	FXSQ40A
P.B.00	1.859,29	FXSQ20A
P.B.11	960,33	FXSQ15A
P.B.09	1.939,96	FXSQ20A
P.B.10	255,12	FXSQ15A
P.B.12	5.663,81	FXSQ63A
P.B.13	634,27	FXSQ15A
P.P.01	8.625,77	FXSQ80A
P.P.03	531,75	FXSQ15A
P.P.04	2.835,74	FXSQ32A
P.P.02	1.381,30	FXSQ15A
P.P.07	1.327,92	FXSQ15A
P.P.08	3.585,83	FXSQ32A
P.P.11	2.297,18	FXSQ25A
P.P.10	1.662,74	FXSQ15A
P.P.12	4.610,23	FXSQ50A
P.P.00	2.208,69	FXSQ25A
P.P.05	2.570,93	FXSQ25A
P.P.06	5.354,92	FXSQ50A
P.P.09	819,11	FXSQ15A
P.S.01	3.630,22	FXSQ40A
P.S.00	2.595,70	FXSQ25A

P.S.02	1.155,75	FXSQ15A
P.S.03	2.446,26	FXSQ25A
P.S.04	1.769,62	FXSQ20A
P.S.05	3.690,71	FXSQ40A
P.S.06	2.629,82	FXSQ25A
P.S.07	3.337,38	FXSQ32A
P.S.08	3.545,35	FXSQ32A
P.S.09	4.542,93	FXSQ50A

Tabla 6.2. Unidades Interiores

Haciendo un recuento serán necesarias 11 unidades FXSQ15A, 3 unidades FXSQ20A, 8 unidades FXSQ25A, 3 unidades FSXQ32A, 3 unidades FSXQ40A, 3 unidades FSXQ50A, 1 unidad FSXQ63A y 2 unidades FSXQ80.



Figura 6.5. Unidad Interior FXSQ

CAPÍTULO 7: REALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Estudio de la Nueva Demanda Energética.

Una vez realizado el estudio de la carga térmica y habiendo elegido los nuevos equipos de climatización, vamos a hacer el análisis de la demanda energética del nuevo sistema.

Una vez lo hayamos realizado podremos analizar el alcance y ahorro de nuestra mejora de eficiencia energética.

Para realizar este estudio nos valdremos de las gráficas de la carga térmica generadas por Energy Plus, y las analizaremos utilizando Matlab.

Para realizar este estudio vamos a suponer el coeficiente de operatividad (COP) y la eficiencia energética del ciclo de refrigeración (EER) constantes, ya que, aunque sabemos que estas pueden tener variaciones en función de la carga térmica, éstas son mínimas.

Podríamos haber realizado un estudio de la variación de este coeficiente sin embargo las especificaciones técnicas de Daikin, solo ofrece el COP a máximo rendimiento, por lo que no hemos podido establecer ninguna linealidad.

En cualquier caso, dado que el COP aumenta con la disminución de la carga térmica, al hacer el estudio en el punto de máximo rendimiento siempre nos vamos a poner del lado de la restricción, ya que los resultados en todo caso ofrecerán una pequeña variación al alta de la demanda energética.

Basándonos en el horario de trabajo de la empresa vamos a establecer un horario para climatizar el edificio de 7:00 a 19:00.

Para hallar la demanda energética total del edificio vamos a realizar las siguientes operaciones, partiendo de las siguientes expresiones.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{calefacción.zona}}{\dot{W}_{compresor.calefacción.zona}}$$

Donde,

- $COP = \text{Coeficiente de operatividad de la unidad exterior.}$
- $\dot{Q}_{\text{calefacción.zona}} = \text{Carga térmica a calefactar por zona.}$
- $\dot{W}_{\text{compresor.calefacción.zona}} =$
Potencia consumida por la unidad exterior para calefactar la zona.

$$EER = \frac{\dot{Q}_{\text{refrigeración.planta}}}{\dot{W}_{\text{compresor.refrigeración.zona}}}$$

Donde,

- $EER = \text{Eficiencia Energética del Ciclo de Refrigeración.}$
- $\dot{Q}_{\text{refrigeración.zona}} = \text{Carga térmica a refrigerar por zona.}$
- $\dot{W}_{\text{compresor.refrigeración.zona}} =$
Potencia consumida por la unidad exterior para refrigerar la zona.

$$\dot{W}_{\text{unidad}} = \dot{W}_{\text{compresor}} + \dot{W}_{\text{ventilador}}$$

Donde,

- $\dot{W}_{\text{unidad}} = \text{Potencia total consumida para climatizar una zona.}$
- $\dot{W}_{\text{compresor}} =$
Potencia consumida por la unidad exterior para climatizar la zona.
- $\dot{W}_{\text{ventilador}} =$
Potencia consumida por la unidad interior para climatizar la zona.

$$\dot{W}_{\text{sistema}} = \sum \dot{W}_{\text{unidad}}$$

Donde,

- $\dot{W}_{\text{sistema}} =$
Potencia total consumida por el sistema de climatización.

$$\dot{E}_{unidad} = \int \dot{W}_{unidad} dt$$

Donde,

- \dot{E}_{unidad} = *Demanda energética consumida para climatizar la zona.*

$$\dot{E}_{sistema} = \sum \dot{E}_{unidad}$$

Donde,

- $\dot{E}_{sistema}$ =
Demanda energética total consumida por el sistema de climatización.

De esta forma vamos a importar los datos de la carga térmica tanto de refrigeración como de calefacción de cada zona con el objetivo de hallar el consumo de climatización producido en cada zona. Este paso lo realizaremos utilizando el programa anexo a Energy Plus *xEsoView*, mostrado ya en el capítulo anterior, con el que obtendremos las gráficas de la carga térmica de cada zona, y podremos importar los datos de esta carga térmica.

Con el objetivo de ilustrar el procedimiento realizado para hallar la demanda energética vamos a mostrar como ejemplo el cálculo de la demanda de la zona P.B.0.1.

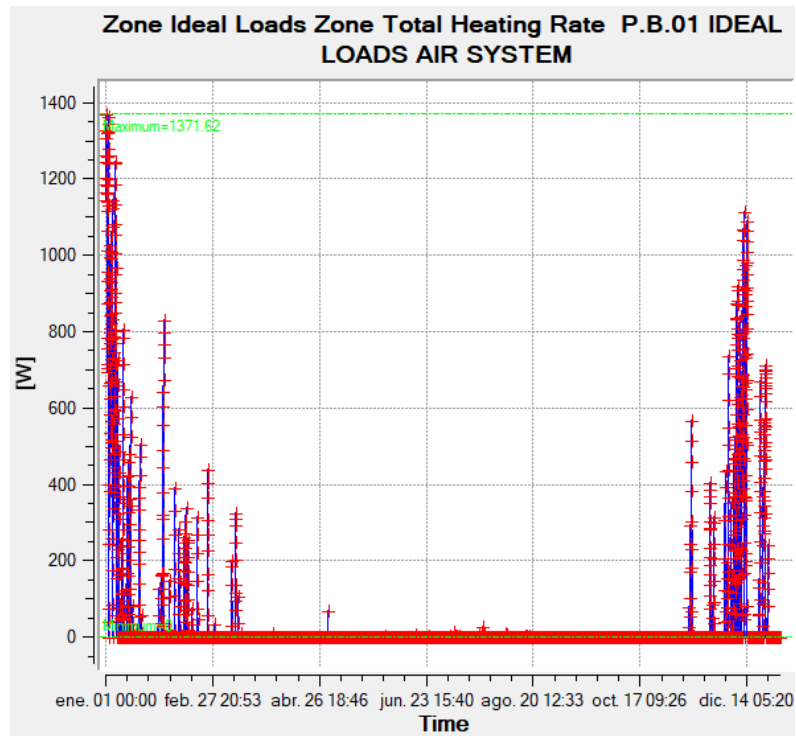


Figura 7.1. Carga Térmica Calefacción P.B.01

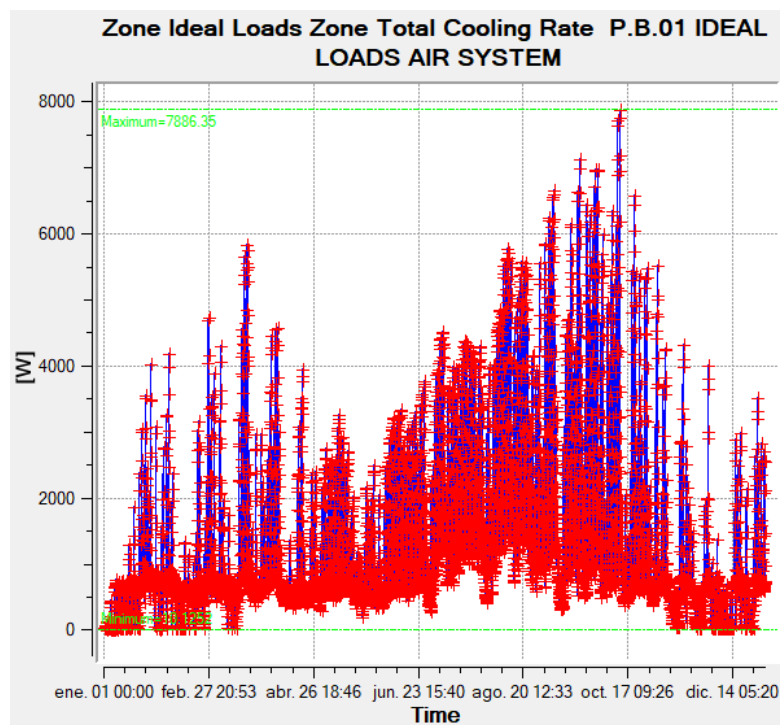


Figura 7.2. Carga Térmica Refrigeración P.B.01

Una vez hayamos exportado los datos de la carga térmica (en nuestro caso a un documento de texto .txt) importaremos los mismos a MatLab, donde aplicaremos

un código para hallar la curva de la carga térmica únicamente durante el horario de la oficina.

Para eso vamos a desechar tanto las horas de los días de diario de 19:00 a 7:00, como los fines de semana. Después dividiremos los valores por el COP o EER, hallando la curva de la potencia del compresor en cada momento y por último teniendo en cuenta cada unidad interior sumaremos la potencia correspondiente del ventilador.

Una vez tengamos la curva usaremos la función de Matlab *trapz*, para hallar el área bajo la curva, que es el valor de la demanda energética anual de cada zona.

El código utilizado para poder realizar esta operación es el siguiente.

```
x = CargaTermica_i;
y = linspace (1,3132,1);
potencia_i = linspace (1,3132,1);
i=1;
j=1;
for k=1:261
    y(12*(j-1) +1:12*(j-1)+12) = x(24*(i-1)+7:24*(i-1)+18);
    m=mod(k,5);
    if m == 0;
        i = i+2;
    end
    i = i+1;
    j = j+1;
end
for l=1:3132
    if y(l)~=0;
        potencia_i(l)=(y(l)/COP.EER + WVentilador) /1000;
    else
        potencia_i(l)=0;
    end
end
plot(potencia_i);
demandai = trapz(potencia_i);
```

En el caso de la planta P.B.01, los datos de la Carga Térmica son los datos exportados de las gráficas de las figuras 7.1 y 7.2. Por último, las últimas dos variables son el COP o el EER (dependiendo la demanda que estemos hallando) y la potencia del ventilador. Estos datos se obtienen analizando las fichas técnicas de los equipos instalados en la zona (capítulo 6).

De esta forma podemos observar la curva de la potencia térmica necesaria para climatizar cada zona durante todo el año.

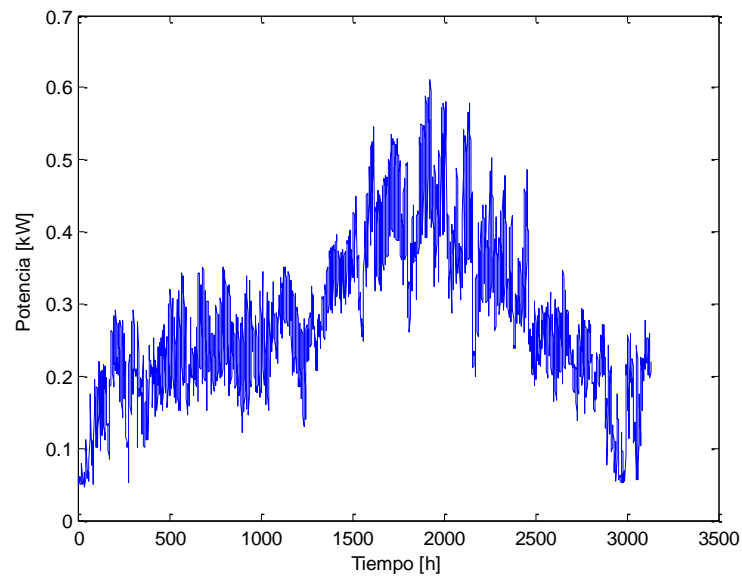


Figura 7.3. Potencia Consumida Refrigeración P.B.01

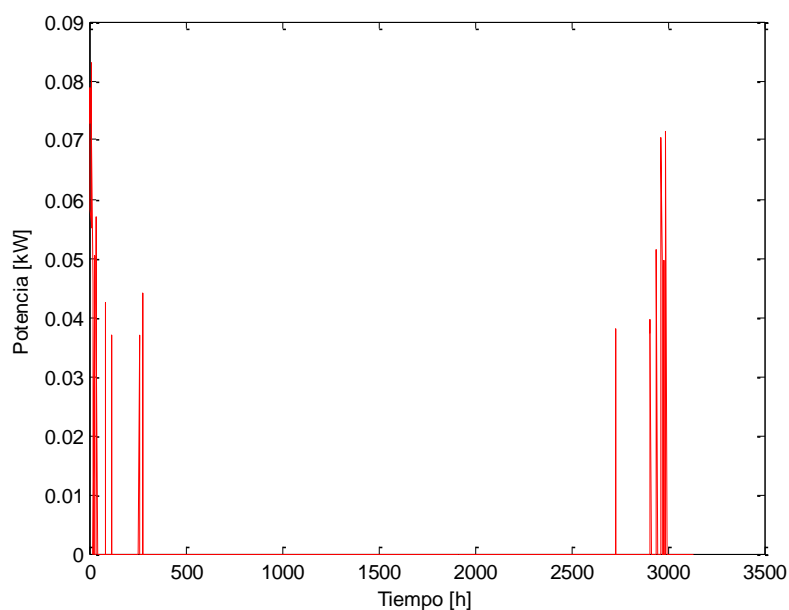


Figura 7.4. Potencia Consumida Calefacción P.B.01

2. Resultados de la Demanda Energética.

Aplicando el procedimiento anterior para cada zona obtenemos los resultados de la demanda energética anual para cada zona del edificio que es la siguiente.

	Demanda Refrigeración [kWh]	Demanda Calefacción [kWh]
P.B.01	1.816,9716	47,7136
P.B.03	718,1260	58,2773
P.B.05	480,9145	86,2031
P.B.02	846,4446	9,3883
P.B.04	547,8485	0,2245
P.B.06	707,5019	0,2258
P.B.07	504,4421	80,2028
P.B.08	957,9956	99,8408
P.B.00	866,4259	2,8004
P.B.11	751,8280	0,2259
P.B.09	660,7783	32,8747
P.B.10	351,1011	0,2233
P.B.12	1.689,2989	28,7740
P.B.13	536,6340	0,2244
P.P.01	1.934,1081	55,2330
P.P.03	461,0118	0,1123
P.P.04	976,1736	2,6580
P.P.02	1.115,9203	0,1154
P.P.07	830,9742	0,1143
P.P.08	596,1155	117,0754
P.P.11	812,7230	15,5265
P.P.10	710,3260	0,1137
P.P.12	2.018,7558	3,2986
P.P.00	1.142,1504	0,1151
P.P.05	576,6787	1,3545
P.P.06	897,0270	185,1171
P.P.09	948,1753	0,1148
P.S.01	741,1583	0,9812
P.S.00	954,6988	4,3346
P.S.02	788,1660	13,9986
P.S.03	828,3959	50,9085
P.S.04	813,6811	34,7248
P.S.05	1.183,1196	68,7354
P.S.06	830,3382	82,3263
P.S.07	843,7095	0,4653

P.S.08	1.049,8041	21,9146
P.S.09	1.184,1055	2,1196
TOTAL	33.673,6278	1.108,6565

Tabla 7.1. Demanda Calefacción y Refrigeración

Con los resultados finales del nuevo gasto energético de la instalación podemos hacer un análisis de los resultados.

La primera observación que podemos hacer es la gran diferencia de energía necesaria para refrigeración en comparación con la de calefacción. Esto es lógico por diferentes razones.

- Un clima cálido y seco como el de Madrid, que hace que los veranos sean excesivamente calurosos.
- El horario estándar de un edificio de oficinas, donde la actividad se realiza prácticamente entera durante horas de sol, provocando que no sea necesario calefactar el edificio durante las horas más crudas de la noche.
- La elevada carga térmica interna del edificio, resultado del alto número de trabajadores presentes en el edificio y del uso continuo y total de la iluminación del edificio.
- Como factor que aumenta aún más esta gran diferencia está el valor de la EER, que por defecto es menor que el del COP, lo que provoca una menor eficiencia para refrigerar que para calefactar. Además, aunque es prácticamente inapreciable, el consumo del ventilador en las unidades interiores es también más alto para la refrigeración.

CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO, PLANIFICACIÓN E IMPACTO DE LA AUDITORÍA.

1. Planificación del Proyecto.

Para realizar el presupuesto y la planificación del proyecto vamos a realizar un Diagrama de Gantt para organizar el tiempo que un ingeniero tardaría en realizar la auditoría.

Hay que destacar que este tiempo no es el estimado para realizar el proyecto de fin de grado que nos concierne (el cuál es considerablemente mayor), ni tampoco el tiempo que se necesitaría para llevar a cabo las medidas propuestas en la auditoría. La estimación que vamos a realizar consta únicamente del tiempo desde que el Real Decreto 56/2016 se hizo público en el BOE hasta que el ingeniero a cargo de la auditoría entrega el informe final.

Esta planificación realizada con la herramienta Microsoft Project va a ser la siguiente.

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	✓		Análisis Real Decreto y Leyes	2 días	lun 15/02/16	mar 16/02/16
2	✓		Análisis Elementos Consumidores	3 días	mié 17/02/16	vie 19/02/16
3	✓		Análisis Consumos	2 días	lun 22/02/16	mar 23/02/16
4	✓		Preparación Planos	1 día	mié 24/02/16	mié 24/02/16
5	✓		Autocad y Genera 3d	2 días	jue 25/02/16	vie 26/02/16
6	✓		Energy Plus	2 días	lun 29/02/16	mar 01/03/16
7	✓		Matlab	1 día	mié 02/03/16	mié 02/03/16
8	✓		Análisis Resultados	1 día	jue 03/03/16	jue 03/03/16
9	✓		Elección Equipos	1 día	vie 04/03/16	vie 04/03/16
10	✓		Realización Auditoría	3 días	lun 07/03/16	mié 09/03/16
11	✓		Entrega Auditoría	1 día	jue 10/03/16	jue 10/03/16

Figura 8.1. Planificación del Proyecto.

En esta planificación estamos teniendo en cuenta que el ingeniero trabaja a jornada completa y dedica su tiempo exclusivamente a la realización de la auditoría energética.

Por lo tanto, el número de horas a trabajadas va a ser el correspondiente a los días calculados en la planificación multiplicados por las ocho horas de una jornada laboral.

- *Número de horas de trabajo del ingeniero* = $8 \times 19 = 152$ horas.

El diagrama de Gantt resultante para realizar la auditoría es el siguiente.

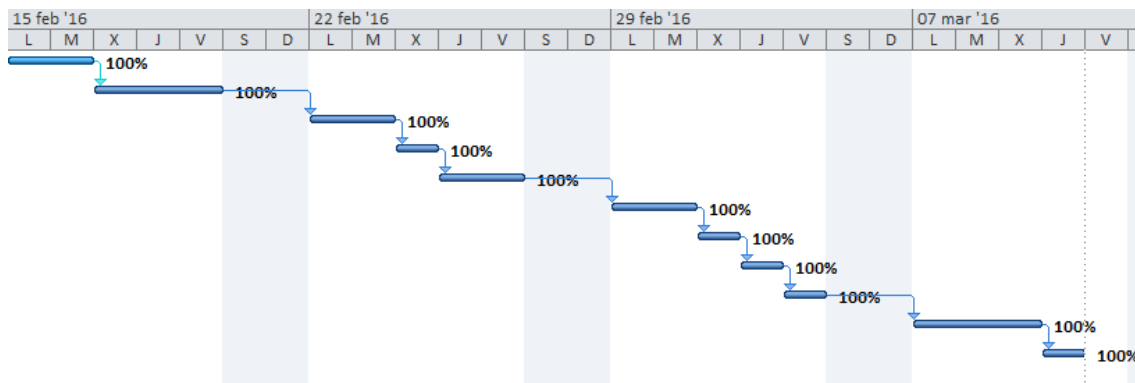


Figura 8.2. Diagrama de Gantt

2. Presupuesto del Proyecto.

Una vez hemos calculado tanto las horas de trabajo del ingeniero responsable de realizar la auditoría como las unidades de climatización a instalar vamos a ser capaces de hacer un cálculo del presupuesto del proyecto.

A diferencia de la planificación del proyecto, donde solo hemos tenido en cuenta la planificación para realizar la auditoría energética, en el presupuesto sí que vamos a hacer un presupuesto del proyecto completo, incluyendo la instalación del nuevo sistema de climatización. Esto es necesario ya que posteriormente vamos a hacer un análisis del impacto tanto económico como ambiental que tendría el llevar a cabo la auditoría energética.

Para ello suponemos que la empresa de venta de aire acondicionado (en este caso Daikin), se encarga de la instalación de las unidades de forma gratuita, lo que suele ser lo normal cuando hablamos de compras tan grandes de aparatos.

Por ello y como hemos explicado anteriormente, debido a que aprovechamos la instalación actual de aire acondicionado, el único gasto que tiene el proyecto aparte de la compra de las unidades es el sueldo del ingeniero que realiza el proyecto.

Suponiendo un sueldo para un ingeniero de 36.000 euros mensuales y una dedicación total diaria de dos semanas para realizar el proyecto, la inversión necesaria para realizar el proyecto es la siguiente.

Importe Proyecto			
Recurso	Precio [€]	Unidades	Importe [€]
RXYQ14T	17.432,00	2,00	34.864,00
RXYQ12T	14.859,00	1,00	14.859,00
FXSQ15A	1.273,00	11,00	14.003,00
FXSQ20A	1.340,00	3,00	4.020,00
FXSQ25A	1.364,00	8,00	10.912,00
FXSQ32A	1.402,00	3,00	4.206,00
FXSQ40A	1.462,00	3,00	4.386,00
FXSQ50A	1.511,00	3,00	4.533,00
FXSQ63A	1.560,00	1,00	1.560,00
FXSQ80A	1.804,00	2,00	3.608,00
Ingeniero	18,75	152,00	2.850,00
TOTAL			99.801,00

Tabla 8.1. Importe Económico del Proyecto

3. Impacto de la Auditoría Energética.

Una vez realizado el estudio de nuestra medida de ahorro energético los resultados deben ser comunicados en el Registro Administrativo de Auditorías Energéticas, dentro del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

Este comunicado debe ser realizado en un plazo de tres meses desde la realización de la auditoría, y puede ser realizado tomando como modelo el Anexo I del Real Decreto.

En el Anexo I del RD, podemos ver como ejemplo de comunicado la siguiente información a cumplimentar.

- a. Ahorro energético estimado.
- b. Emisiones de CO2 evitadas (tCO2e).
- c. Inversión estimada para acometer las mejoras señaladas en la auditoría.
- d. Consumo energético (kWh/año).
- e. Periodo de retorno de la inversión.
- f. Ahorros energéticos correspondientes a las mejoras implementadas derivadas de la última comunicación relativa a la realización de una auditoría energética.

Se pueden observar tres bloques de impacto, el referido al consumo energético, el medioambiental y por último al económico. Por ello nosotros vamos a analizar el impacto de la auditoría en cada uno de estos campos por separado.

4. Impacto Energético de la Auditoría.

Tal como hemos calculado en el capítulo 7, el nuevo consumo energético anual estimado para el sistema de climatización va a ser 34.728,29 kWh.

Dado que nuestra medida de ahorro energético está centrada únicamente en el sistema de climatización, supondremos la demanda de iluminación y electrónica igual. Por lo tanto, todo el ahorro energético va a estar en el sistema de climatización.

Este ahorro va a ser el siguiente.

- $Ahorro\ energético\ [kWh] = Demanda\ actual - Demanda\ estimada = 245.614,93 - 34.728,29 = 210.886,64$

Aunque puede parecer un ahorro excesivo de energía podemos observar como el nuevo sistema resulta mucho más eficiente que el actual por las siguientes razones.

- El sistema VRV por el que pasamos del sistema 1x1 anterior, a un sistema de hasta 14x1, lo que además de una gran flexibilidad proporciona un consumo mucho menor.
- La tecnología Inverter es el factor clave del nuevo sistema, ya que como podemos observar en los resultados calculados, la carga térmica varía considerablemente a lo largo del día. Esta tecnología nos permite utilizar únicamente la energía necesaria para cada momento, sin necesidad de que el sistema funcione a plena potencia durante todo su funcionamiento, como pasaba anteriormente.
- Comparando los valores de la carga térmica por cada zona del capítulo 5 y la potencia térmica de los equipos actuales del edificio, podemos observar como el sistema de climatización en uso está completamente sobredimensionado para las necesidades del edificio.

Como hemos comentado antes el único ahorro energético se produce en el sistema de climatización por lo que el consumo energético del edificio anual estimado sería.

- $\text{Consumo Energético [kWh]} = \text{Consumo Iluminación} + \text{Consumo Electrónica} + \text{Consumo Estimado Climatización} = 121.758,36.$

5. Impacto Económico de la Auditoría.

Para analizar el impacto económico de nuestra medida vamos a calcular el precio que tendría implementarla, haciendo esto, vamos a analizar la rentabilidad y la viabilidad del proyecto mediante el Valor Actual Neto (VAN).

El Valor Actual Neto (VAN): Analizaremos los flujos de caja que habría implementando la MAE, analizando el momento en el que este flujo pasa de negativo a positivo para analizar el periodo de retorno de la inversión.

El VAN se calcula mediante la siguiente expresión.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Donde,

- $I = \text{Inversión Inicial [€]}.$
- $Q_n = \text{Flujo de caja en el año } n \text{ [€]}.$
- $r = \text{Tipo de interés []}.$

Como se trata de un proyecto que no proporciona ingresos netos, sino que lo que proporciona es ahorro económico, tomaremos como el flujo de caja el dinero que ahorramos implementando la MAE.

Como hemos explicado anteriormente para aplicar el VAN tenemos que realizar los flujos de caja referente a la inversión. Por ello vamos a calcular el ahorro económico en función del ahorro energético ya calculado.

Este ahorro energético varía directamente en función del precio del kWh. Este precio puede variar en función de múltiples factores tanto económicos como energéticos.

Cabe destacar que el precio de la luz ha ido subiendo progresivamente con el paso del tiempo, sin embargo, la crisis energética que hubo en 2016 llevó al precio más alto que jamás ha habido en España, por lo que es de esperar que el precio como mínimo se mantenga en los valores actuales.

Por ello, y una vez más poniéndonos en el caso más restrictivo vamos a tomar como valor constante el factor que ya calculamos en el Capítulo 1.

$$\text{Precio } kWh = 0,151 \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

Por ello el ahorro económico anual será el siguiente.

$$\text{Ahorro Económico [€]} = \text{Precio } kWh \cdot \text{Ahorro Energético} = 31.843,88$$

Una vez hemos calculado tanto la inversión como el flujo de caja anual producido por la MAE, identificamos el valor de la inflación y depreciación del dinero para poder aplicar el VAN.

La inflación durante el año 2017 ha alcanzado el 2%, este ha sido el gran objetivo del Banco Central Europeo (BCE) desde que estalló la crisis económica.

Por ello vamos a tomar este valor como la tasa de descuento a aplicar.

Por último, vamos a analizar el periodo de funcionamiento de este nuevo sistema durante los siguientes quince años, que es la vida útil que estimamos a unas unidades de climatización como las instaladas.

La ecuación del VAN a aplicar es la siguiente.

$$VAN = -98.451,00 + \sum_{n=1}^{15} \frac{31.843,88}{(1 + 0,02)^n}$$

Aplicándola obtenemos los siguientes valores.

Valor Actual Neto del Proyecto								
Año	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
Inversión [€]	-98.451,00							
Flujo de Caja [€]		31.219,49	30.607,34	30.007,20	29.418,82	28.841,98	28.276,45	27.722,01
Total	-99.801,00	-68.581,51	-37.974,17	-7.966,97	21.451,86	50.293,84	78.570,29	106.292,31
Año	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
Inversión [€]								
Flujo de Caja [€]	27.178,44	26.645,53	26.123,07	25.610,86	25.108,68	24.616,35	24.133,68	23.660,47
Total	133.470,75	160.116,29	186.239,36	211.850,21	236.958,90	261.575,25	285.708,93	309.369,41

Tabla 8.2. VAN del Proyecto

Podemos observar como el VAN al final del ciclo de vida supera ampliamente los 300.000 € por lo que la rentabilidad del proyecto está más que aprobada.

A su vez podemos también observar como el periodo de retorno de la inversión es de cuatro años, por lo que la realización del proyecto está más que recomendada.

6. Impacto Medioambiental de la Auditoría.

Como explicamos en el Capítulo 1, una de las principales necesidades del Real Decreto 56/2016, es cumplir con el programa ‘Paquete de Energía y Clima 2020’, reduciendo los gases invernadero y fomentando la eficiencia energética.

En este caso no vamos a hacer uso de energías limpias o renovables pero una disminución drástica del consumo energético como la que estamos llevando a cabo también conlleva una drástica reducción de CO₂ emitido a la atmósfera.

Para hallar el valor del CO₂ emitido, vamos a utilizar los factores de emisión de CO₂ establecidos por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), que ofrece la conversión entre el MWh de electricidad producido y las toneladas de CO₂ emitidas.

Energía Eléctrica General	1	0,086	0,18 tep /MWh neto	0,19 tep /MWh final	0,29 tCO ₂ /MWh bruto	0,30 tCO ₂ /MWh neto	0,33 tCO ₂ /MWh final
			2,06 MWh primario/ MWh neto	2,25 MWh primario/ MWh final	3,38 tCO ₂ /tep bruto	3,52 tCO ₂ /tep neto	3,84 tCO ₂ /tep final

Figura 8.3. Coeficientes CO₂ IDAE

Como en nuestro caso estamos hablando de energía final consumida vamos a utilizar el factor de conversión de tCO_2/MWh , de valor 0,33.

Tal como calculamos anteriormente el ahorro energético anual es de 210.886,64 *kWh* lo que es igual a 210,89 *MWh*. Por lo tanto, las toneladas de CO₂ evitadas son.

$$tCO_2 = MWh_{ahorrados} \cdot FC_{CO_2/MWh} = 210,89 \cdot 0,33 = 69,59$$

Para hacernos una idea del alcance de nuestro proyecto, una tonelada de CO₂ es equivalente al CO₂ producido por un ciudadano medio europeo (calentarse, desplazarse...) durante un mes. Este dato nos hace ver más claro como un ahorro de casi 70 toneladas de CO₂ anuales es más que beneficioso para el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Conclusiones de las Presidencia, Consejo Europeo 8/9 de Marzo de 2007.
- (2) Conclusiones, Consejo Europeo 4 de Febrero de 2011.
- (3) Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo. 25 de Octubre de 2012
- (4) Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012.
- (5) Becker S. Foundations of Heat Transfer. Von F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, A. S. Lavine. Cherie Ingenieur Technik 2014;86(3):395-396.
- (6) Válvula inversora del flujo en sistemas de refrigeración y bomba de calor. 2013; Available at: <http://dim.usal.es/eps/mmt/?p=2139>.
- (7) Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). 2006
- (8) España. Ministerio de la Presidencia. RITE: Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios: Versión Consolidada.
- (9) España. Ministerio de la Vivienda. Código técnico de la edificación: Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
- (10) SAINT GOBAIN GLASS, inventor. AnonymousSGG COOL-LITE ST.
- (11) García-Palacios Galán G, Universidad Carlos III de Madrid . Escuela Politécnica Superior. Modificaciones a introducir en una bomba de calor para climatizar un gran edificio: aplicación. Leganés: G. García-Palacios; 2010.
- (12) ¿Por qué elegir un aire acondicionado con tecnología Inverter? Panasonic-Air. Available at: https://www.aircon.panasonic.eu/ES_es/blog/por-que-elegir-un-aire-acondicionado-con-tecnologia-inverter/

ANEXOS



Figura 1. Planta Baja Aldesa

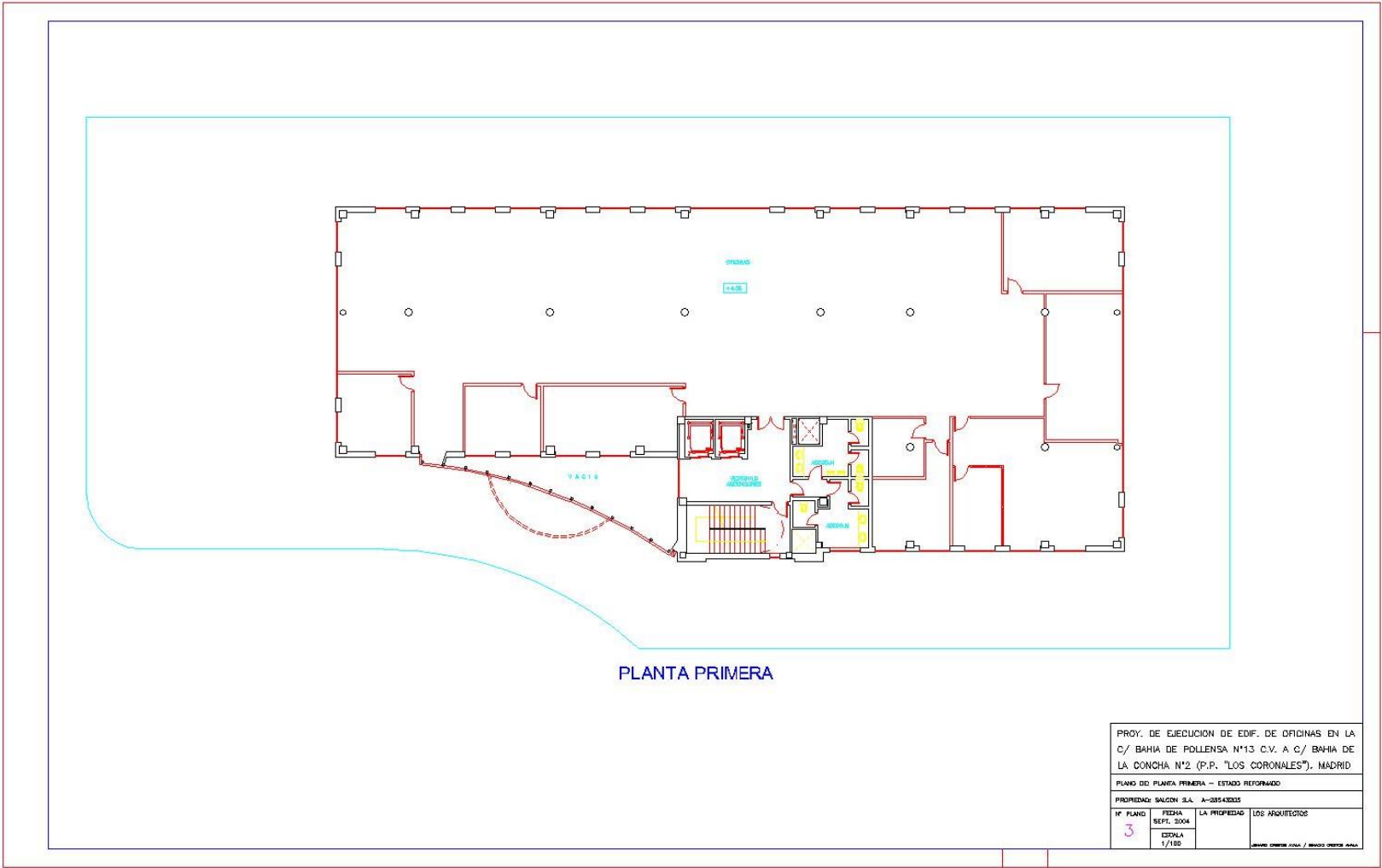


Figura 2. Planta Primera Aldesa

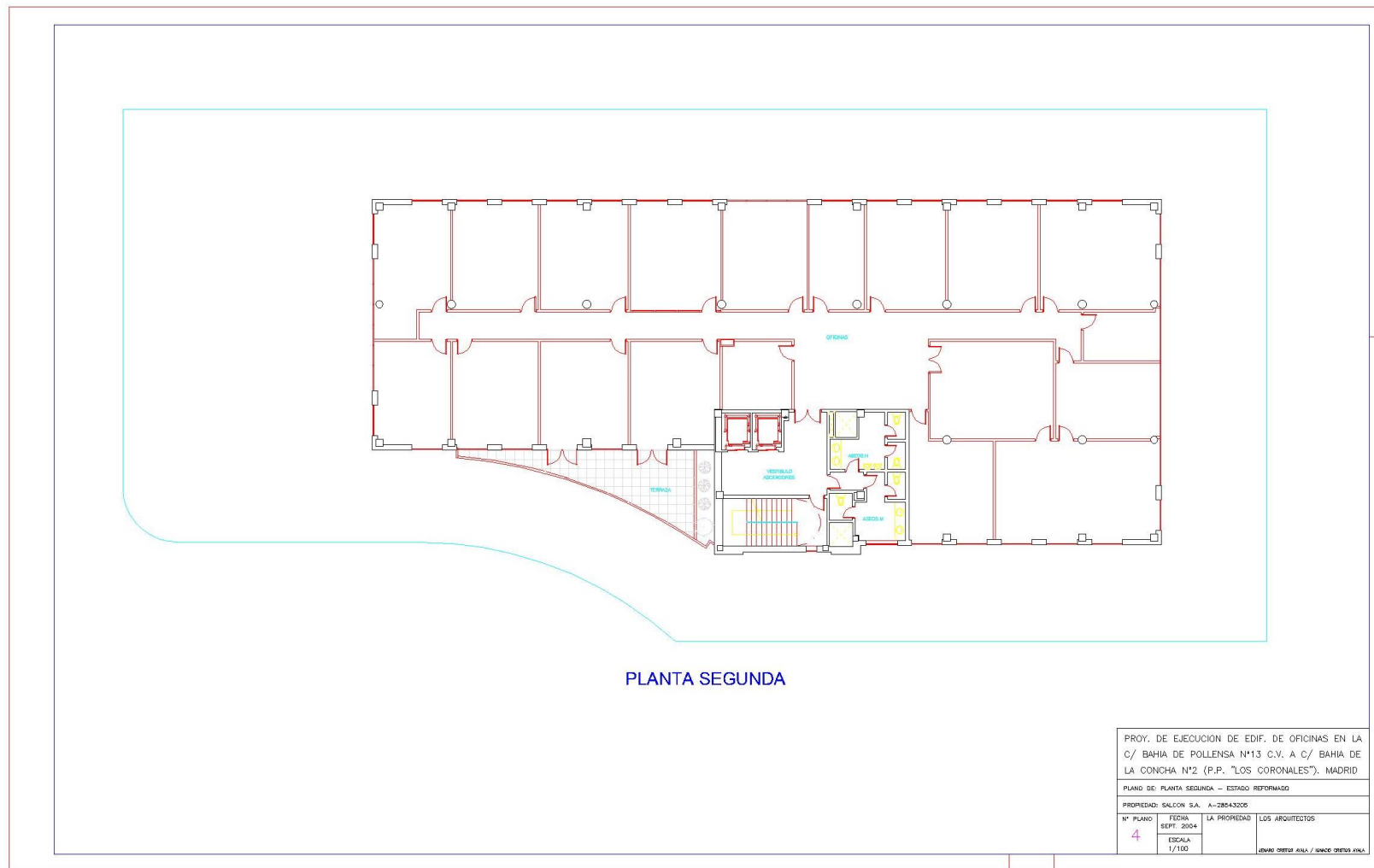


Figura 3. Planta Segunda Aldesa

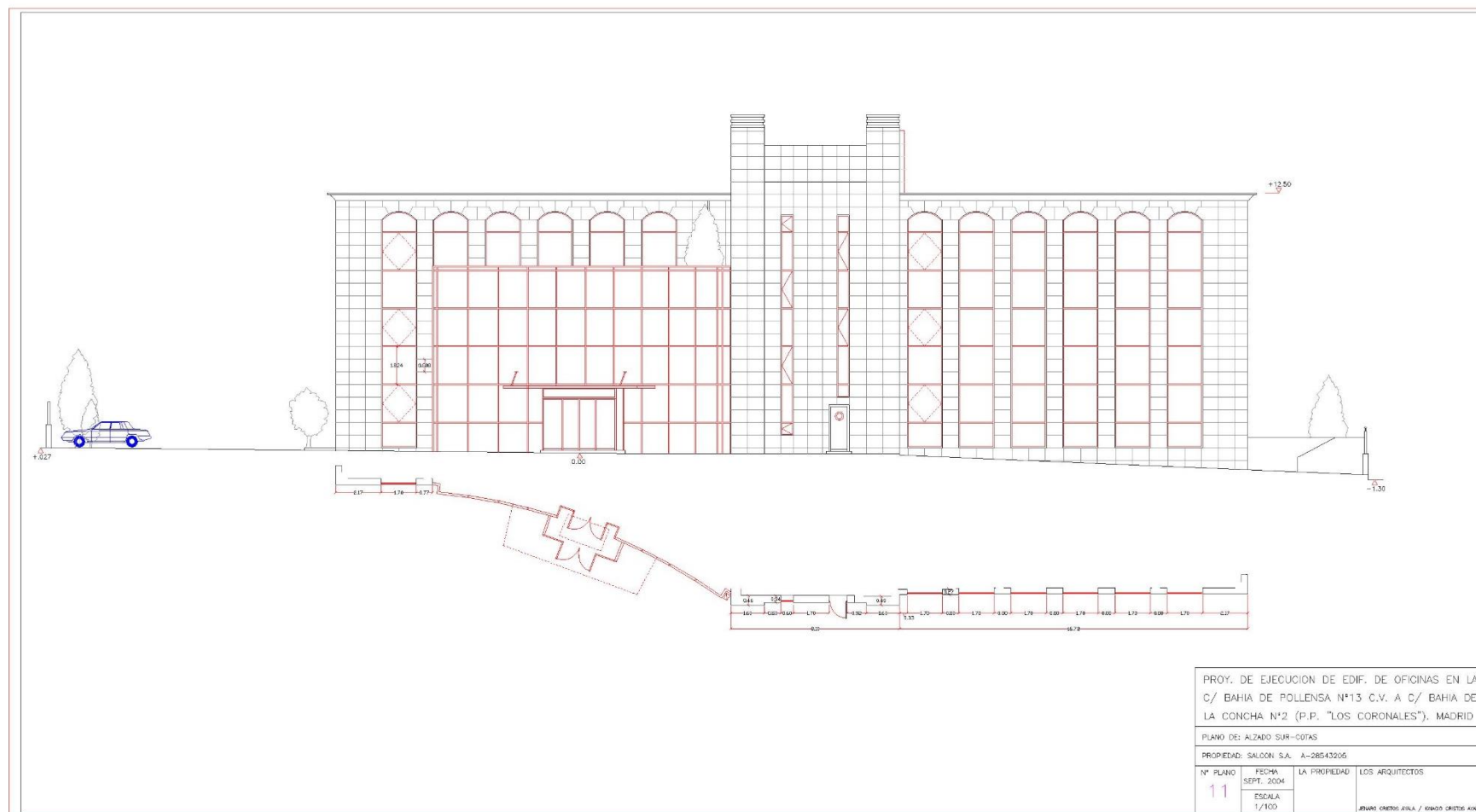


Figura 4. Alzado Principal del Edificio

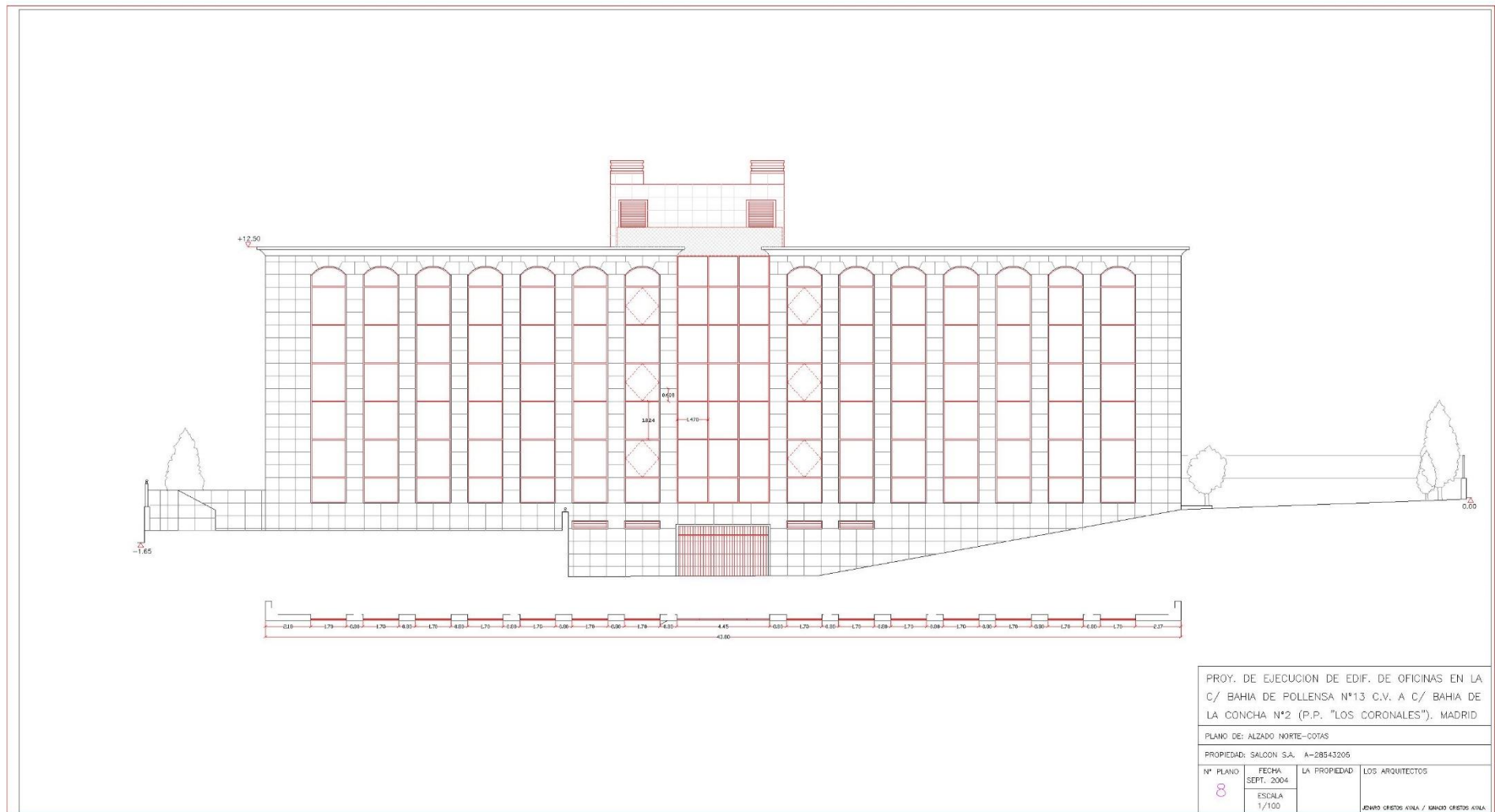


Figura 5. Alzado Posterior del Edificio

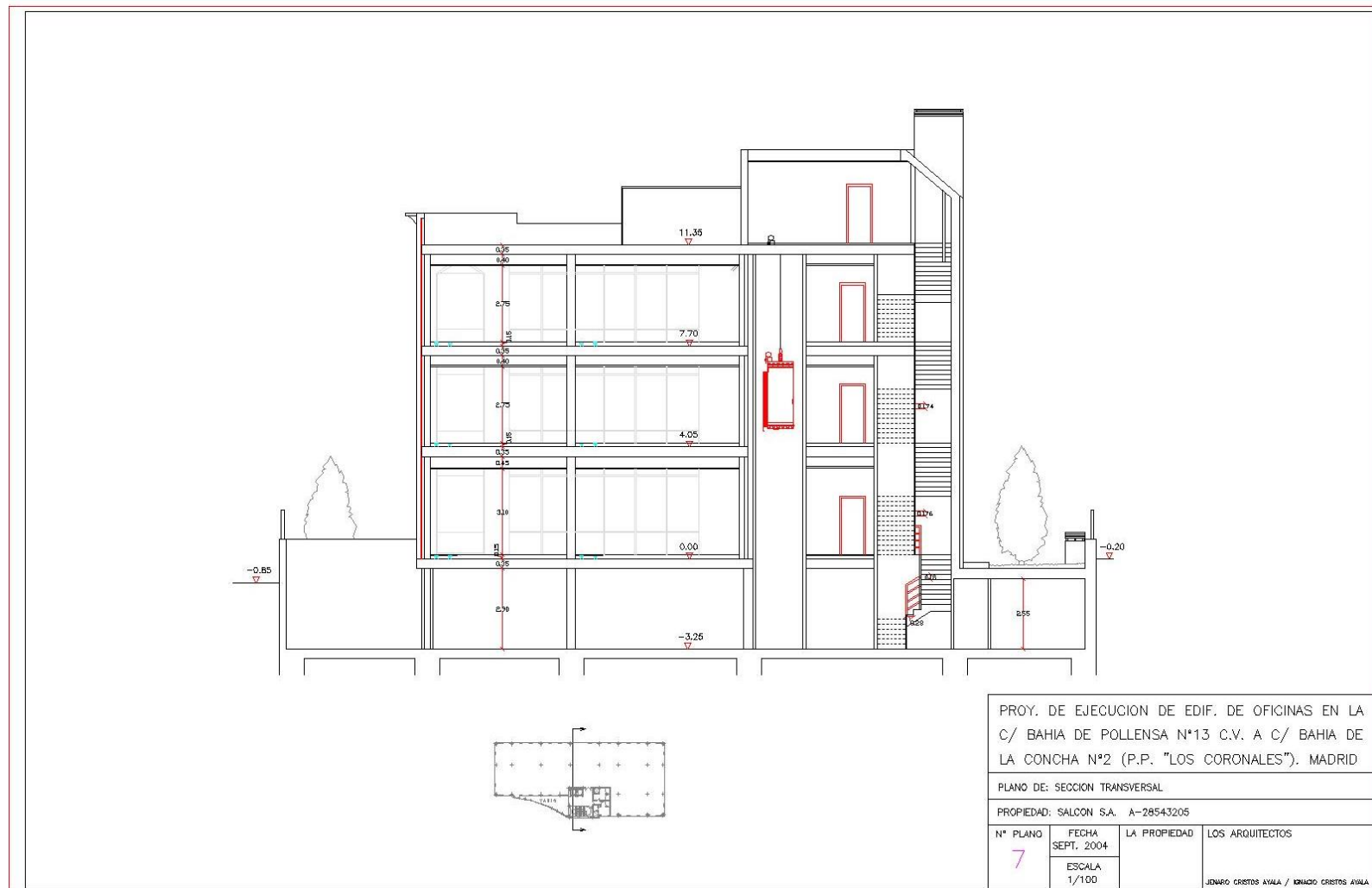
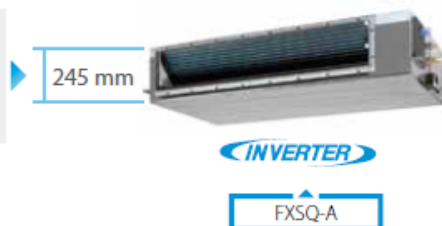


Figura.6. Sección Perfil del Edificio

BOMBA DE CALOR

VRV *Indoor* by Daikin / *VRV IV* / *VRV IV Classic* / *VRV IV W* / *VRV IV S-series* / *VRV IV Compact*
 Unidades de conductos / Industrial

¡Sólo
245 mm
de alto!



UNIDADES DE CONDUCTOS FXSQ-A			FXSQ15A	FXSQ20A	FXSQ25A	FXSQ32A	FXSQ40A	FXSQ50A
Capacidad nominal	Refrigeración	kW	1,7	2,2	2,8	3,6	4,5	5,6
	Calefacción	kW	1,9	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3
Consumo	Refrigeración	W	41	41	41	45	92	95
	Calefacción	W	37	37	37	42	89	92
Dimensiones	Unidad	Al.xAn.xF.	mm	245 x 550 x 800	245 x 550 x 800	245 x 550 x 800	245 x 550 x 800	245 x 700 x 800
Peso	Unidad	kg	23,5	23,5	23,5	24,0	28,5	29,0
Presión sonora	Alto	dB(A)	29,5	30,0	30,0	31,0	35,0	35,0
Presión disponible (Caudal Alto)	Estándar/Alta	Pa	30/150	30/150	30/150	30/150	30/150	30/150
Velocidades del ventilador		nº	3	3	3	3	3	3
Refrigerante			R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A
Conexiones de tubería	Líquido	mm	ø 6,4 (1/4")	ø 6,4 (1/4")	ø 6,4 (1/4")	ø 6,4 (1/4")	ø 6,4 (1/4")	ø 6,4 (1/4")
	Gas	mm	ø 12,7 (1/2")	ø 12,7 (1/2")	ø 12,7 (1/2")	ø 12,7 (1/2")	ø 12,7 (1/2")	ø 12,7 (1/2")
Precios €								
	Interior		FXSQ15A	FXSQ20A	FXSQ25A	FXSQ32A	FXSQ40A	FXSQ50A
	TOTAL		1.273,00 €	1.340,00 €	1.364,00 €	1.402,00 €	1.462,00 €	1.511,00 €
UNIDADES DE CONDUCTOS			FXSQ63A	FXSQ80A	FXSQ100A	FXSQ125A	FXSQ140A	
Capacidad nominal	Refrigeración	kW	7,1	9,0	11,2	14,0	16,0	
	Calefacción	kW	8,0	10,0	12,5	16,0	18,0	
Consumo	Refrigeración	W	95	121	157	214	243	
	Calefacción	W	92	118	154	211	240	
Dimensiones	Unidad	Al.xAn.xF.	mm	245 x 1.000 x 800	245 x 1.000 x 800	245 x 1.400 x 800	245 x 1.400 x 800	245 x 1.550 x 800
Peso	Unidad	kg	36,6	36,6	47,2	47,2	51,0	
Presión sonora	Alto	dB(A)	33,0	35,0	36,0	39,0	41,0	
Presión disponible (Caudal Alto)	Estándar/Alta	Pa	30/150	40/150	40/150	50/150	50/130	
Velocidades del ventilador		nº	3	3	3	3	3	
Refrigerante			R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	R-410A	
Conexiones de tubería	Líquido	mm	ø 9,5 (3/8")	ø 9,5 (3/8")	ø 9,5 (3/8")	ø 9,5 (3/8")	ø 9,5 (3/8")	
	Gas	mm	ø 15,9 (5/8")	ø 15,9 (5/8")	ø 15,9 (5/8")	ø 15,9 (5/8")	ø 15,9 (5/8")	
Precios €								
	Interior		FXSQ63A	FXSQ80A	FXSQ100A	FXSQ125A	FXSQ140A	
	TOTAL		1.560,00 €	1.804,00 €	1.949,00 €	2.095,00 €	2.304,00 €	

Nota: Consultar información sobre opcionales en página 63.

Figura 7. Unidad Interior FXSQ-A

BOMBA DE CALOR

VRV **VRV IV**
Unidades exteriores / Industrial



Unidades exteriores RYYQ-T

COMBINACIONES VRV-IV

UNIDADES EXTERIORES VRV-IV CON CALEFACCIÓN CONTINUA			RYYQ8T8	RYYQ10T	RYYQ12T	RYYQ14T	RYYQ16T	RYYQ18T	RYYQ20T	RYYQ22T
Capacidad nominal	Refrigeración	kW	22,4	28,0	33,5	40,0	45,0	50,0	56,0	61,5
	Calefacción		25,0	31,5	37,5	45,0	50,0	56,0	63,0	69,0
Consumo	Refrigeración	kW	5,21	7,29	8,98	11,00	13,00	14,70	18,50	16,30
	Calefacción		5,50	7,38	9,10	11,20	12,80	14,40	17,00	16,50
EER			4,30	3,84	3,73	3,65	3,46	3,40	3,03	3,77
COP			4,54	4,27	4,12	4,02	3,91	3,89	3,71	4,18
SEER*			7,53	7,20	6,96	6,83	6,50	6,38	5,67	7,07
Cantidad máx. de unid. interiores conectables			17	22	26	30	34	39	43	47
Índice de capacidad total de unid. interiores conectables (Min.-Nom.-Máx.)			100/200/260	125/250/325	150/300/390	175/350/455	200/400/520	225/450/585	250/500/650	275/550/715
Alimentación eléctrica		V	III/380V-415V	III/380V-415V	III/380V-415V	III/380V-415V	III/380V-415V	III/380V-415V	III/380V-415V	III/380V-415V
Compresor	Tipo		SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL	SCROLL
	Cantidad		1	1	1	2	2	2	2	2
Conexiones de tubería	Líquido	mm	ø 9,5 (3/8")	ø 9,5 (3/8")	ø 12,7 (1/2")	ø 12,7 (1/2")	ø 12,7 (1/2")	ø 15,9 (5/8")	ø 15,9 (5/8")	ø 15,9 (5/8")
	Gas	mm	ø 19,1 (3/4")	ø 22,2 (7/8")	ø 28,6 (1 1/8")	ø 28,6 (1 1/8")	ø 28,6 (1 1/8")	ø 28,6 (1 1/8")	ø 28,6 (1 1/8")	ø 28,6 (1 1/8")
Refrigerante R-410A	kg / TCO ₂ eq / PCA		5,9/12,3/2.087,5	6/12,5/2.087,5	6,3/13,2/2.087,5	10,3/21,5/2.087,5	10,4/21,7/2.087,5	11,7/24,4/2.087,5	11,8/24,6/2.087,5	-
Caudal de aire	Refrig./Calef.	m³/min	162	175	185	223	260	251	261	360
Dimensiones	Alto	mm	1.685	1.685	1.685	1.685	1.685	1.685	1.685	1.685
	Ancho ⁽²⁾	mm	930	930	930	1.240	1.240	1.240	1.240	1.880
	Fondo	mm	765	765	765	765	765	765	765	765
Peso de la máquina		kg	261	268	268	364	364	398	398	497
Presión sonora		dB(A)	58	58	61	61	64	65	66	-
Nº de unidades exteriores		Modulos	1	1	1	1	1	1	1	2
Combinaciones		RYMQ-T	-	-	-	-	-	-	-	10 + 12
Precio			11.225,00 €	12.514,00 €	14.859,00 €	17.432,00 €	20.073,00 €	22.833,00 €	25.117,00 €	

Figura 8. Unidad Exterior RXYQ-T

Valores espectrofotométricos según norma UNE EN 410 para vidrios sgg COOL-LITE® ST monolíticos.

sgg COOL-LITE ST y STB: Prestaciones en vidrio monolítico.												
Aspecto en reflexión exterior		Neutro ⁽¹⁾					Azul		Verde			
sgg COOL-LITE		ST 108	ST 120	ST 136	ST 150	ST 167	STB 120	STB 136	ST 408	ST 420	ST 436	ST 450
Espesor	mm	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Peso	Kg/m ²	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Posición de la capa ⁽²⁾	cara	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Factores luminosos												
T _l	%	8	20	37	51	66	22	36	6	16	30	42
R _{lE}	%	44	32	22	18	18	21	16	32	23	16	14
R _{li}	%	38	27	18	17	19	29	17	38	27	18	16
UV T _{uv}	%	4	15	23	29	37	13	23	1	5	8	10
Factores energéticos												
T _e	%	6	17	32	45	62	18	30	4	10	18	25
R _{eE}	%	38	26	18	14	14	19	15	17	13	10	9
A _{e1}	%	45	32	21	17	16	36	26	45	32	21	17
A _{e2}	%	55	57	51	40	24	63	55	79	77	72	66
Factor solar g _{EN 410}		0,15	0,30	0,44	0,56	0,68	0,33	0,44	0,16	0,28	0,36	0,42
Shading coefficient		0,18	0,35	0,51	0,64	0,78	0,38	0,50	0,19	0,32	0,41	0,48
Coefficiente U	W/(m ² · K)	3,60	5,20	5,50	5,70	5,70	5,30	5,40	3,60	5,20	5,50	5,70

Figura 9. Valores Cristal ST420